



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ville Salminen

MaxSine –aktiivisuodattimen käyttöönotto

Tekniikka
2015

ALKUSANAT

Opetus- ja tutkimuslaboratorio Technobothnian MaxSine-aktiivisuodattimen käyttöönotto on osa valtion EU-rahoitteista INKAStart hanketta. Oppilaitoksen aloitteesta osa laitteen käyttöönotosta, kuten tähän opinnäytetyön sisältyvä käyttöohjeiden läpikäynti ja testiajot, on ulkoistettu opiskelijoille.

Tämä MaxSine-aktiivisuodatinta koskeva opinnäytetyö ei olisi ollut mahdollinen, ilman Vaasan ammattikorkeakoulun sähkötekniikan opetushenkilökunnan aktiivisuutta asian suhteen. Haluan kiittää, muun opetushenkilökunnan lisäksi, erityisesti opinnäytetyön ohjaajaa yliopettaja Kari Jokista asioiden järjestämisestä siihen malliin, että tämän opinnäytetyön valmistumiseen on saatu parhaat mahdolliset lähtökohdat.

Vaasassa 11.12.2015

Ville Salminen

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Ville Salminen
Opinnäytetyön nimi	MaxSine –aktiivisuodattimen käyttöönotto
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	80 + 2 liitettä
Ohjaaja	Kari Jokinen

Sähkön siirto on tärkeä osa nykyaikaisen yhteiskunnan toimivuudesta. Vaikka suurin osa sähköverkoissa siirretystä jännitteestä on sinimuotoista, sähköverkkojen virta ei useinkaan ole. Suurin osa nykyaikaisista laitteista kuormittaa sähköverkkoa epäsinimäisellä kuormituksella, jossa virran muoto poikkeaa suuresti verkkojännitteestä. Yliaaltosisällön aiheuttamat ongelmat, kuten siirtohäviöt, kasvavat jokaisesta verkkoon kytketystä epäsinimäisestä kuormituksesta. Näinollen ei tule yllätyksenä, että vaatimukset yliaaltojen suodattamiselle ovat jatkuvassa kasvussa. Yliaaltoja voidaan suodattaa passiivisilla suodattimilla eli imupiireillä tai aktiivisilla yliaaltosuodattimilla.

Tutkimus- ja opetuslaboratorio Technobothnia on saanut juuri käyttöönsä yhden esimerkin tavoista ratkaista ongelma, MaxSine yliaaltojen aktiivisuodattimen. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on suorittaa arviointi yliaaltojen aktiivisuodattimen toiminnasta laboratorioympäristössä. Testisarjoja suoritettiin useampia. Suodatinta testattiin laajasti Technobothnian laitteistojen kanssa. Raskasta käyttöä, kuten valokaariuunin virran suodattamista, ei kuitenkaan testattu, koska Technobothnialla ei ole tarvittavan massiivista teollisuuslaitteistoa.

Testitulokset olivat myönteisiä. MaxSine yliaaltojen aktiivisuodattimella pystyttiin havainnollistamaan hyvin verkossa tapahtuvaa yliaaltojen suodatusta ja loistehon kompensointia. Myös muutamiin ongelmatilanteisiin törmättiin. Luotettavuuden kanssa on ajoittaisia ongelmia, kun laitteistoa käynnistetään, mutta suurimman osan ajasta suodatin toimii täydellisesti. Vaikuttaa siltä, että monimutkaisilla kytkennöillä törmätään ajoittain monimutkaisiin ongelmiin. Kaiken kaikkiaan suodattimen suorituskyky todisti MaxSine yliaaltojen aktiivisuodattimen olevan hyödyllinen lisä Tutkimus- ja opetuslaboratorio Technobothnian laitteistoon.

ABSTRACT

Author	Ville Salminen
Title	Commissioning of MaxSine Harmonic Filter
Year	2015
Language	Finnish
Pages	80 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Kari Jokinen

Power distribution is a vital element in the modern day society. Although most of the alternative voltage transferred in the distribution networks is sine based transferred current in many cases is not. Problems caused by the harmonics, such as transfer losses, grow with every load that is plugged to the distribution network. Therefore it is not surprising that demands for the filtering of the harmonic content are ever increasing. Applications to counter harmonics vary from the passive filtering and scaling of the network to withstand harmonic content to active filtration.

Technobothnia Education and Research Center has recently acquired one example of the solutions in the hand, the MaxSine Active Harmonic Filter. The purpose of this thesis was to make evaluation of the Active Harmonic Filter in the use in the laboratory environment. Several series of measurements were performed. The Filter was tested widely according to the proportional machinery of the Technobothnia. Behavior of the filter in heavy use such as filtering of the current of electric arc furnace were left open as the Technobothnia does not own any high end industrial equipment.

Results of the experimented use were positive. MaxSine Active Harmonic Filter is quite clearly capable of demonstrating active filtering of the current in industrial use. Few problems were also met. Some random issues with reliability were met at the system startup but most of the time the filter operates perfectly. Seems like complex loads tend to make complex problems. Overall performance of the filter proves MaxSine Active Harmonic Filter to be one more valuable asset to the Technobothnia Education and Research Center.

SISÄLLYS

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOLUETTELO

LYHENTEET JA MERKINNÄT

1	JOHDANTO	12
2	YLIAALTOJEN SUODATTAMINEN	13
3	MAXSINE-AKTIIVISUODATIN	15
3.1	Laitteen perusominaisuudet	15
3.2	Laitteen käyttöönotto	19
3.2.1	MMI-paneeli	19
3.2.2	Päävalikko	21
3.2.3	Measuments	22
3.2.4	Comissioning	23
3.2.5	Alarms	28
3.2.6	Maintenance	28
4	SÄHKÖN LAATU	39
5	AKTIIVISUODATTIMEN KYTKENTÄ MCC:HEN	41
6	TESTEISSÄ KÄYTETYT MITTARIT	43
7	TOIMINTOJEN TESTAUS TAAJUSMUUTTAJAKUORMALLA	44
7.1	Kuormitukset.....	44
7.2	Kuormien kytkentä.....	47
7.3	Yliaaltojen suodattaminen eri kuormituksilla.....	48
7.4	Yhteenveto	55
8	TOIMINTOJEN TESTAUS KUUSIPULSSISUUNTAAJALLA	56
8.1	Kuormitukset.....	57
8.2	Aktiivisuotimen loistehokompensointi ja yliaaltosuodatus	59
8.3	Yhteenveto mittauksista.....	66
9	TOIMINNAN TESTAUS MOOTTORIN KÄYNNISTYKSESSÄ	69
9.1	Kuormitukset.....	69
9.2	Kuorman kytkentä.....	71

9.3 Loistehon kompensoinnin vaikutus jännitteenalenemaan	72
9.4 Yhteenveto mittauksista.....	77
10 SUODATTIMEN KÄYTTÖ OPETUSKÄYTÖSSÄ	78
11 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	79
LÄHTEET.....	80
LIITTEET	

KUVIOLUETTELO

Kuvio 1. Yksinkertaisen passiivisuodattimen yksivaiheinen sijaiskytkentä	13
Kuvio 2. Aktiivisuodattimen kytkentä	14
Kuvio 3. MaxSine-aktiivisuodattimen toimintaperiaate	15
Kuvio 4. MaxSine-aktiivisuodattimen lohkokaavio	16
Kuvio 5. Laboratorion MaxSine-aktiivisuodatin	17
Kuvio 6. MaxSine 3L-aktiivisuodattimelle suositeltu kytkentätapa	18
Kuvio 7. MMI-paneeli, paneelin alapuolella suodattimen virtakytkin	19
Kuvio 8. MMI-paneelin valikkorakenne	20
Kuvio 9. MMI-paneelin aloitusikkuna	21
Kuvio 10. MMI-paneelin perusikkuna	21
Kuvio 11. MMI-paneelin päävalikko	22
Kuvio 12. Lukitusikkuna joka suojaa laitteen tärkeitä asetuksia	23
Kuvio 13. Invertterin tila Comissioning-valikossa	23
Kuvio 14. Ikkuna, josta valitaan syöttävän verkon taajuus	24
Kuvio 15. Ikkuna, josta määritetään virtamuuntajien koko	24
Kuvio 16. Ikkuna, jossa määritellään moduulien määrä	25
Kuvio 17. Virtamuuntajien mittausten suuntavalikko	25
Kuvio 18. Suodattimen alivirran asetukset	26
Kuvio 19. Suodattimen kompensatiotapa	26
Kuvio 20. Kompensointikertoimien säätöikkuna	27
Kuvio 21. Tehokertoimen korjauksen säätö	27
Kuvio 22. MMI-paneelin kohde	28
Kuvio 23. IGBT:n virransäätö	29
Kuvio 24. Tasavirtalähdön jännite	29
Kuvio 25. Suodattimen PI-toiminta	30
Kuvio 26. Vaiheen ulostulon virtarajat	30
Kuvio 27. Suodattimen taajuusrajoitus	30
Kuvio 28. Vaihevirran hallintamoodi	31
Kuvio 29. Vaihejännitteiden rajat	31
Kuvio 30. Tasavirtalähteen jänniterajat	31
Kuvio 31. Käynnistysviiveen säätö	32

Kuvio 32. Pääkytkennän käynnistysviive	32
Kuvio 33. Suodattimen uudelleenkäynnistysviive	32
Kuvio 34. Käynnistysviive käynnistyskäskyn jälkeen	33
Kuvio 35. Suodatinkaapin tuulettimen toimitila	33
Kuvio 36. Invertterin tuulettimen käynnistysasetukset	34
Kuvio 37. Käämin tuulettimen käynnistysasetukset	34
Kuvio 38. Kaapin tuulettimen käynnistysasetukset	35
Kuvio 39. Invertterin tehonpuolitus yllälämpenemän estämiseksi	35
Kuvio 40. Käämin tehonpuolitus yllälämpenemän estämiseksi	35
Kuvio 41. Kaapin tehonpuolitus yllälämpenemän estämiseksi	36
Kuvio 42. Invertterin poiskytketymisasetukset yllälämpötilan sattuessa	36
Kuvio 43. Käämin poiskytketymisasetukset yllälämpötilan sattuessa	37
Kuvio 44. Kaapin poiskytketymisasetukset yllälämpötilan sattuessa	37
Kuvio 45. Suodattimen kytkinmääräykset	37
Kuvio 46. Sisääntulologiikoiden prioriteettien säätö	38
Kuvio 47. MaxSine-suodattimen kytkentä MCC:hen	41
Kuvio 48. Oikein kytketyn vaiheen kompensointivirran tilanne	42
Kuvio 49. Epäonnistunut vaihevirran kompensointi, vaihevirta keltaisella	42
Kuvio 50. Chauvin Arnoux C.A 8336 -mittari mittauskäytössä	43
Kuvio 51. Moottorinohjauskeskus, oikeassa laidassa taajuusmuuttajat	44
Kuvio 52. Moottoripenkki, jossa kytkettynä testissä käytetty moottori	45
Kuvio 53. Työpöydällä testissä käytettyjä mittareita ja Vaconin taajuusmuuttaja	45
Kuvio 54. Moottoripenkki, jossa kolmas testauksessa käytetty moottori	46
Kuvio 55. Yksinkertaistettu piirros mittauskytkennästä	47
Kuvio 56. Suodattamaton kolmen moottorin virtojen spektri	48
Kuvio 57. Suodatettu kolmen moottorin virtojen spektri	49
Kuvio 58. Oskilloskooppikuva kolmen moottorin virtojen suodattamisesta	49
Kuvio 59. Suodattamaton kahden moottorin virtojen spektri	50
Kuvio 60. Suodatettu kahden moottorin virtojen spektri	50
Kuvio 61. Oskilloskooppikuva kahden moottorin virtojen suodattamisesta	51
Kuvio 62. Suodattamaton normaalimomentilla käyvän moottorin virran spektri	52
Kuvio 63. Suodatettu normaalimomentilla käyvän moottorin virran spektri	52

Kuvio 64. Oskilloskooppikuva normaalimomentilla käytetyn moottorin virrasta	53
Kuvio 65. Suodattamaton tyhjäkäyvän moottorin virran spektri	53
Kuvio 66. Suodatettu tyhjäkäyvän moottorin virran spektri	54
Kuvio 67. Oskilloskooppikuva tyhjäkäynnissä käyvän moottorin virrasta	54
Kuvio 68. Tasavirtamoottori moottoripenkissä	57
Kuvio 69. Tasavirtamoottorin arvokilpi	57
Kuvio 70. Simoreg tyristoriohjattu kuusipulssitasasuuntaaja	58
Kuvio 71. Mittaustulokset, moottorin pyöriessä 1970 rpm ilman suodatinta	59
Kuvio 72. Virran spektri moottorin pyöriessä 1970 rpm ilman suodatinta	60
Kuvio 73. Mittaukset, 1970 rpm, suodatin päällä ilman loistehokompensointia	60
Kuvio 74. Virran spektri 1970 rpm, suodatus ilman loistehokompensointia	61
Kuvio 75. Mittaukset, 1970 rpm, suodatin ja sen loistehokompensointi päällä	61
Kuvio 76. Virran spektri, 1970 rpm, suodatin ja loistehokompensointi päällä	62
Kuvio 77. Tasasuuntaajan ottama virta loisvirran ja yliaallon suodatuksella	62
Kuvio 78. Mittaustulokset ilman suodatinta moottorin pyöriessä 100 rpm	63
Kuvio 79. Virran spektri moottorin pyöriessä 100 rpm ilman suodatinta	64
Kuvio 80. Mittaustulokset 100 rpm suodatus ilman loistehonkompensointia	64
Kuvio 81. Virran spektri, 100 rpm suodatus ilman loistehonkompensointia	65
Kuvio 82. Mittaustulokset aktiivisuodatukselta moottorin pyöriessä 100 rpm	65
Kuvio 83. Virran spektri aktiivisuodatukselta moottorin pyöriessä 100 rpm	66
Kuvio 84. Tehoarvot 1970 rpm pyörivän moottorin syötöstä	66
Kuvio 85. Vaihevirtojen keskiarvo tasavirtamoottorin pyöriessä 1970 rpm	67
Kuvio 86. Tehoarvot 100 rpm pyörivän moottorin syötöstä	67
Kuvio 87. Vaihevirtojen keskiarvo tasavirtamoottorin pyöriessä 100 rpm	68
Kuvio 88. Testauksessa käytetty sarjakuristin	70
Kuvio 89. Huimamassakone kaikilla lisäkiekoilla varustettuna	70
Kuvio 90. Viitteellinen liitänäkuvä mittaustilanteesta	71
Kuvio 91. Raportti moottorinkäynnistyksen aikaisista pääjännitteenalennemisistä	72
Kuvio 92. Raportti moottorinkäynnistyksen aikaisista virtakäyristä	73
Kuvio 93. Moottorinkäynnistyksen aikaiset loistehokäyrät	74
Kuvio 94. Raportti moottorinkäynnistyksen aikaisista pääjännitteistä	75
Kuvio 95. Raportti moottorinkäynnistyksen aikaisista virtatasoista	76

Kuvio 96. Loistehokäyrät moottorinkäynnistyksen aikana

LYHENTEET JA MERKINNÄT

A	Ampeeri, virran mittayksikkö
AC	Alternative Current, vaihtojännite
Arms	Amplitude root mean square, virran neliöllinen keskiarvo
DC	Direct Current, tasajännite
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor, suurteho-bipolaaritransistori
MCC	Motor Control Center, moottorinohjauskeskus
MMI	MAN-Machine Interface, aktiivisuodattimen ohjauspaneeli
rpm	Rounds per minute, kierrosta minuutissa
THD	Total Harmonic Distortion, särökerroin
V	Voltti, jännitteen mittayksikkö
Var	Vari, loistehon mittayksikkö
W	Watti, pätötehon mittayksikkö

LIITELUETTELO

LIITE 1. MaxSine aktiivisuodattimen tuoteinfo

LIITE 2. Chauvin Arnoux C.A 8336 ominaisuuksia laitteen käyttöohjeista

1 JOHDANTO

Toimiva sähköjakelu on yksi nykyaikaisen yhteiskunnan tärkeimmistä toiminta-vaatimuksista. Nykyaikaisiin sähkölaitteisiin, kuten purkauslamppuihin ja hakku-riteholähteisiin, liittyy usein taipumus luoda jakeluverkkoon yliaaltosisältöä. Sähköverkon yliaaltosisältö aiheuttaa sähkön siirtohäviöitä, mittaus- ja ohjauspiirien toiminnallisia häiriöitä ja pahimmillaan verkon resonanssitilanteita. Yliaaltosisällön aiheuttama johdinten ja komponenttien hallitsematon lämpeneminen, voi aiheuttaa jopa suoranaista turvallisuusriskin. Jossain vaiheessa yliaaltosisällön suodattaminen on myös taloudellisesti kannattavaa. Sähköverkkojen suojaamiselle erillaisilta yliaaltotaajuuksilta onkin jatkuvasti kasvava tarve.

Yksi mahdollisuus yliaaltosisällön suodattamiseen on ns. aktiivisuodattimen käyttö. Vaasalainen Technobothnia -laboratorio on hankkinut MaxSine-aktiivisuodattimen yliaaltosuodatuksen tutkimus- ja opetuskäyttöön. Tämä opinnäytetyö on osa kyseisen aktiivisuodattimen käyttöönottoprosessia. Valtuutettu ammattihenkilöstö on suorittanut aktiivisuodattimen asennustyön laboratoriotiloihin. Näinollen opinnäytetyön pääsisällöksi jäi suodattimen käyttöohjeiden suomentaminen, käyttöönotto ja testaus eri toimintatilanteissa, sekä koeajojen dokumentointi. Työn tavoite on luoda edellytyksiä suodattimen käyttöön opetuskäytössä.

Työn mittauksiin käytettiin yliaaltomittaria, tehomittari, sekä useita yleismittareita. Kuormituksina käytettiin Technobothnia-laboratorion monipuoleista laitteistovalikoimaa. Raskaita kuormituksia, kuten valokaariuunin virran kompensointia ei testattu, koska kyse on korkean luokan teollisuuskäytöstä, jotka ovat harvinaisia laboratorioissa.

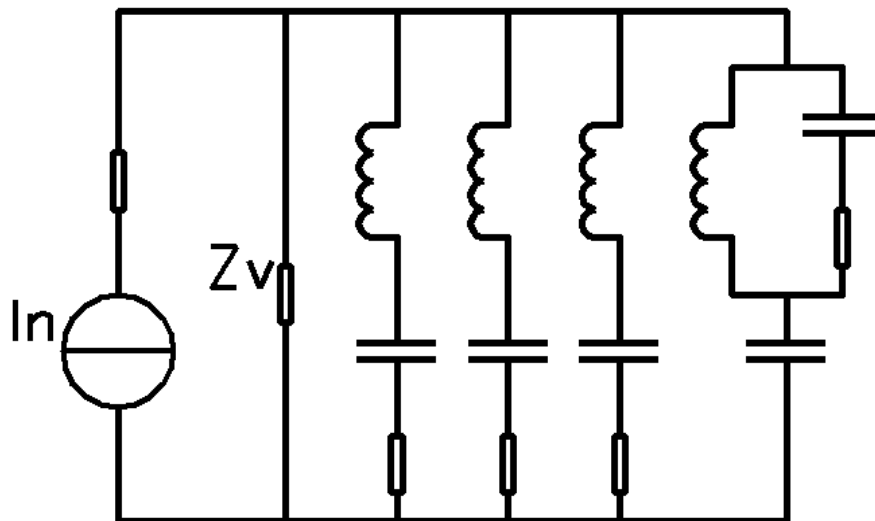
Työn dokumentointiin käytettiin Microsoft Wordia, Adobe Photoshopia, sekä CADSiä.

2 YLIAALTOJEN SUODATTAMINEN

Pienitehoisilla kuormilla yliaaltojen suodattamiseksi riittää usein rinnalle kytketty kondensaattori, jonka kautta suuritaajuiset virtakomponentit saadaan suljettua pois. Joissain tapauksissa käytetään myös sarjakuristinta, joka on suurilla taajuuksilla isoimpedanssinen ja vaimentaa täten yliaaltosisältöä.

Suuritehoisten kuormien yliaaltojen suodattamiseksi sähköpiirissä voidaan käyttää passiivi- tai aktiivisuodattimia.

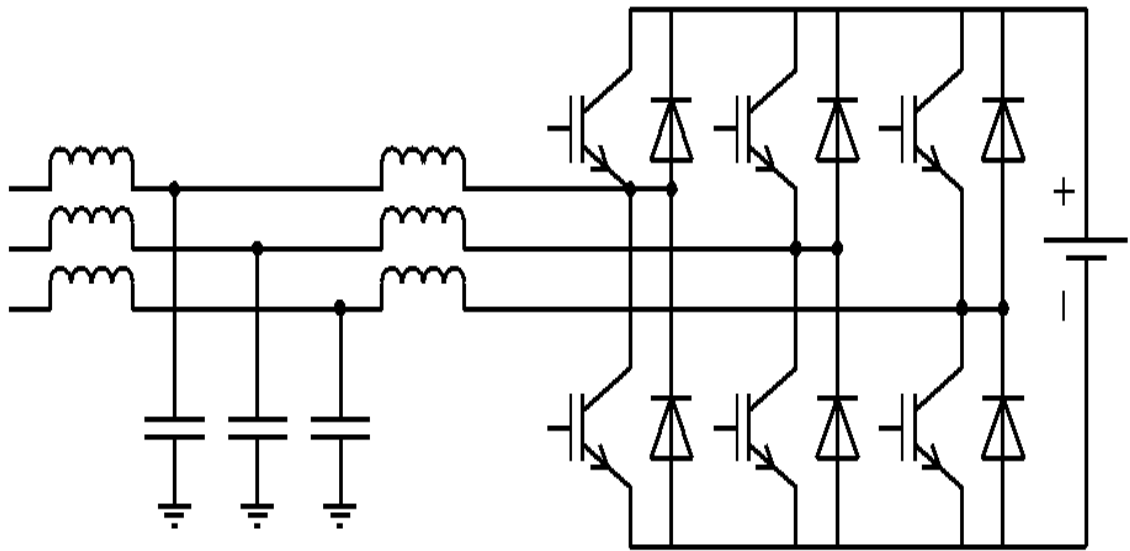
Passiivisuodattimet ovat rakenteeltaan aktiivisuodattimia yksinkertaisempia ja koostuvat elektroniikan passiivisista komponenteista eli kondensaattorin sekä kelan yhdistelmästä. Passiivisuodattimet viritetään komponenttivalinnoilla joko päästämään tai estämään tiettyjä taajuuksia. Usein kuorman rinnalle kytketään passiivisuodatin joka on viritetty resonanssiin sulkemaan tietty yliaaltotaajuus pois. Tällöin puhutaan ns. imupiiristä. Kyseinen ratkaisu on yksinkertainen tapa suodattaa tiettyä yliaaltosisältöä pois. Kuvioon 1 on hahmoteltu yksinkertaisen passiivisuodattimen kokoonpano.



Kuvio 1. Yksinkertaisen passiivisuodattimen yksivaiheinen sijaiskytkentä

Aktiivisuodattimissa on mukana myös elektroniikan aktiivisia komponentteja ja usein vaativampaa ohjaustekniikkaa. Aktiivisuodatin on monimuotoisemman tek-

niikkansa myötä yleensä kalliimpi, kuin passiivisuodatin, mutta aktiivisuodattimissa on usein myös toiminnallisuutta mitä passiivisuodattimella ei pystytä toteuttamaan. Aktiivisuodatin kykenee suodattamaan yhtäaikaaisesti useita harmonisia yliaaltoja, eikä se vaadi tarkkaa yliaaltoanalyysiä verkosta. Suodatus toimii ilman loistehon tuotantoa, mutta aktiivisuodattimella voidaan osallistua myös loistehon säätöön. Kuviossa 2 näkyy yksinkertaisen aktiivisuodattimen kokoonpano.



Kuvio 2. Aktiivisuodattimen kytkentä

Aktiivisuodattimissa on karkeasti katsoen kahta eri moodia, jolla yliaaltovirtoja suodatetaan.

Ensimmäinen suodatustapa on virran perusaallon tunnistus. Tällöin suodatin generoi perusaallon ja kuormavirran erotuksen mukaista virtaa, jolloin verkosta pyritään saamaan vain virran perusaalto. Virran perusaallon tunnistaminen antaa suodattimelle yksinkertaisen ja nopean vasteen.

Toinen ja usein parempi suodatustapa on virran jakaminen nopealla Fourier-analyysillä perusaaltoon ja yliaaltokomponentteihin. Suodatin luo analyysin jälkeen kompensointivirran, jolla suodatetaan haluttuja yliaaltotaajuuksia pois. Fourier-analyysi takaa täsmällisen yliaaltosuodatuksen ja joustavuutta sen suhteen mitä suodatetaan.

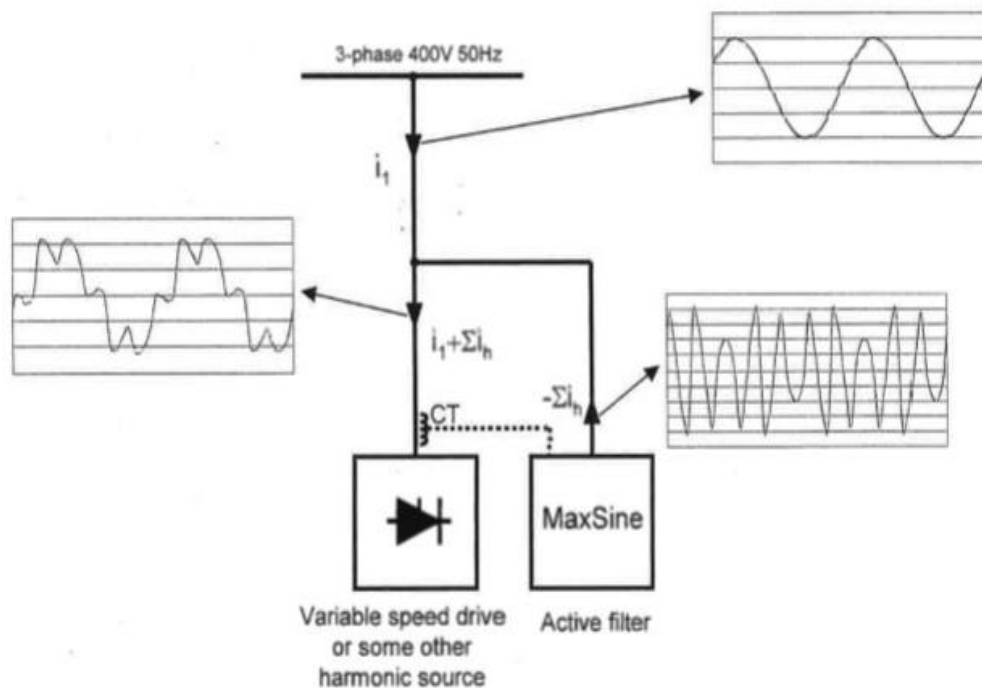
3 MAXSINE-AKTIIVISUODATIN

3.1 Laitteen perusominaisuudet

MaxSine-aktiivisuodattimen keskeisiä ominaisuuksia on listattu suodattimen käyttö-oppaassa.

Suodatin on kytkettävä rinnan kuorman kanssa ja se jatkuvasti tuottaa verkkoon virtoja jotka kompensoivat kuorman tuottamaa yliaaltosisältöä. Lopputuloksena harmoninen yliaaltosisältö ei pääse leviämään muualle verkkoon.

Aktiivisuodattimen pääasiallinen etu on kyky mukautua nopeasti kaikenlaisiin kuormitukseen. Toisin kuin passiivisuodattimet, toiminta on dynaamista ja riippumatonta piirin impedansseista. Toimintaperiaatteesta saa helposti aikaan havainnollisen kuvan (**Kuvio 3.**).

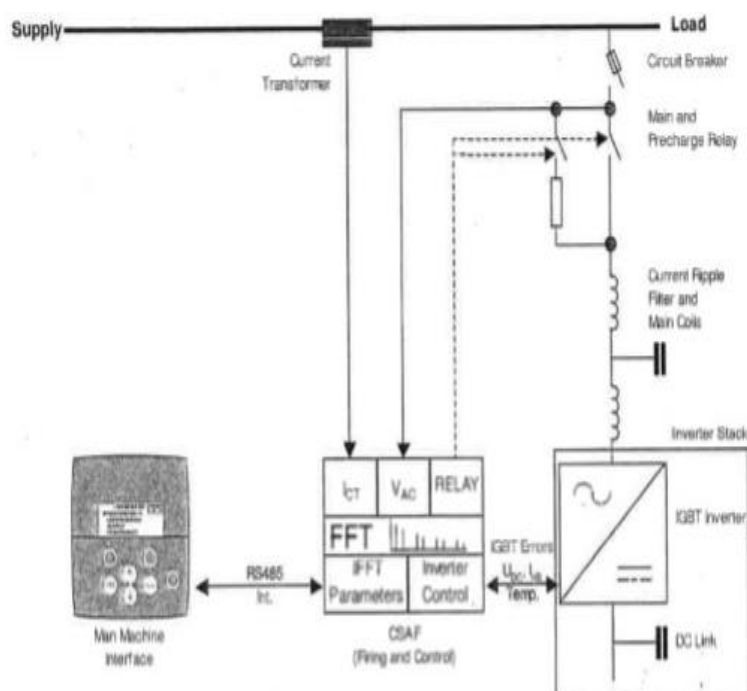


Kuvio 3. MaxSine-aktiivisuodattimen toimintaperiaate

MaxSine-aktiivisuodattimessa on käytettävissä kaksi yliaaltosuodatuksen eri päämoodia. Suodatin pystyy suodattamaan yliaaltosisältöä sekä havaitun virran perusaallon, että nopean Fourier-analyysin mukaan 25 ensimmäistä yliaaltoja.

MaxSine aktiivisuodatinta valmistetaan kahta tyyppiä: kolmelle, sekä neljälle johtimelle tarkoitetut mallit. Kolmen johtimen mallia käytetään kolmen vaiheessa kulkevan virran kompensointiin, tällöin kuormaan ei ole nollaa kytkettynä. Neljän johtimen mallia käytetään, kun kuormaan on kytketty nollajohdin, jonka virtoja pitää suodattaa.

Laborationin laitteiston suodatin on niinsanottu kolmen johtimen malli, eli sitä ei ole tarkoitettu verkkoon, jossa on mukana nollajohdin. MaxSine-aktiivisuodattimen keskeisimmät osat ovat IGBT-invertteri, virran aaltoilun suodatin, pääkelat, sekä suodattimen ohjauskortti. Tarkempaa tietoa aktiivisuodattimen osasista löytyy suodattimen lohkokaaviosta (**Kuvio 4.**).



Kuvio 4. MaxSine-aktiivisuodattimen lohkokaavio

Laboration MaxSine-aktiivisuodattimen tyyppi on 25A-3L. Jossa 25A tarkoittaa sitä, että laitteen jatkuva ulostulovirta voi olla 25 Ampeeria ja 3L sitä, ettei laite tue kolmen vaihejohtimen lisäksi nollajohtimen käyttöä. Kyseisen suodattimen suurin ulostuloteho on 17kVA. Laitteen hetkellinen ulostulovirta voi olla suuruudeltaan jopa 45 Ampeeria. Laitetta asentaessa pitää noudattaa normaaleja varotoimia ja asentamiseen tarvitaan alan ammattihenkilö. Tyypin 25A-3L-

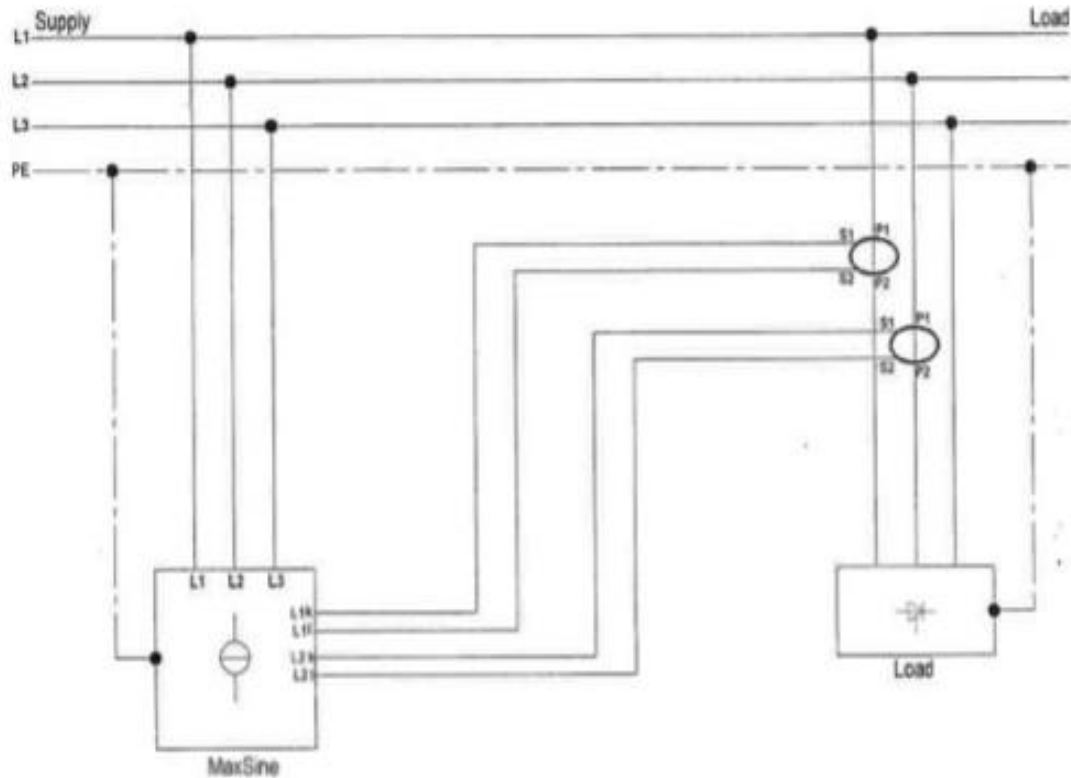
suodattimen kotelon standardikoko on 1000*600*400, täyden kuormituksen teho laitteella on 500 Wattia, joten kotelon läpi kulkevan ilmavirran tulee olla vähintään 190 m³/h.

Laboratorion MaxSine aktiivisuodattimesta otettiin useita valokuvia (**Kuvio 5.**).



Kuvio 5. Laboratorion MaxSine-aktiivisuodatin

Laitteen käyttöohje tarjoaa useita eri vaihtoehtoja laitteen kytkennälle, riippuen käytössä olevan laitteen ominaisuuksista ja käyttöympäristöstä. Laboratorion aktiivisuodatin on kytketty MaxSine 3L-suodattimelle suositellun kytkentäkaavion mukaisesti (**Kuvio 6.**).



Kuvio 6. MaxSine 3L-aktiivisuodattimelle suositeltu kytkentätapa

MaxSine aktiivisuodatin on kytkettävä sähköverkkoon aktiivisuodattimelle tyypillisesti rinnan kuorman kanssa. Aktiivisuodatin mittaa kahden kuormalle menevän vaiheen virran arvoja ja tuottaa verkkoon kompensatiovirran, joka muokkaa verkosta otetusta virrasta mahdollisimman lähelle sinimuotoista, mikä on ideaalitalanne sähkönsiirron kannalta. Kolmannen vaiheen virtaa ei mitata, vaan sen suuruus saadaan laskettua, koska tiedetään, että vaiheiden summavirta on nolla.

Kytchentäkaaviossa näkyvien osasten lisäksi MaxSine 25A-3L aktiivisuodatin vaatii johtolähdöilleen 32:n ampeerin sulakkeet ja laitteelle menevien johdinten tulee olla vähintään 16 mm^2 paksuja.

3.2 Laitteen käyttöönotto

Tämän kappaleen valikkorakenteen kuvat ja suurin osa parametointia koskevasta tekstistä on käännetty MaxSine-aktiivisuodattimen englanninkielisestä käyttöoppaasta. /1/

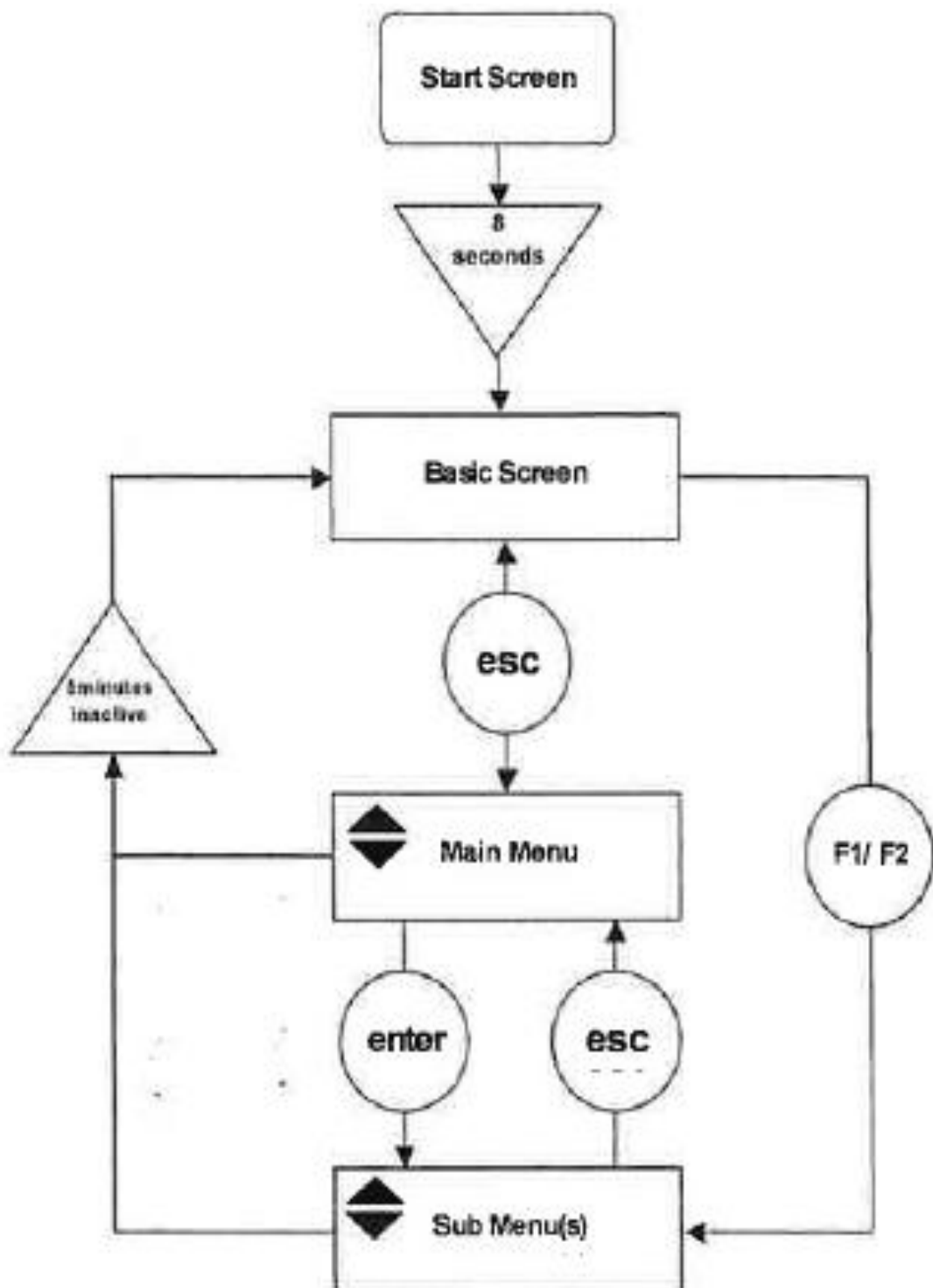
3.2.1 MMI-paneeli

Laitteen parametreja säädetään laitteen oveen kytketyllä MMI-paneelilla. Lyhenne MMI tulee sanoista Man-Machine Interface, eli ihmisen ja laitteen liittymä. Kuivattava esimerkki MMI-paneelistä löytyi laboratorion suodattimesta (**Kuvio 7.**).



Kuvio 7. MMI-paneeli, paneelin alapuolella suodattimen virtakytkin

MMI-paneelissa on oma sisäänrakennettu valikkorakenteensa, jonka perusteella laitteen asetuksia pääsee muokkaamaan (**Kuvio 8.**).



Kuvio 8. MMI-paneelin valikkorakenne

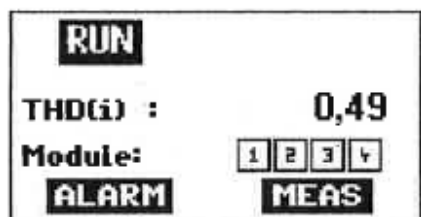
3.2.2 Päävalikko

MaxSine aktiivisuodattimen saadessa virtaa MMI-paneeli käynnistyy aloitusikkunaan, jonka voi ohittaa painamalla ESC-painiketta, tai odottamalla kahdeksan sekuntia (**Kuvio 9**).



Kuvio 9. MMI-paneelin aloitusikkuna

Aloitusikkunan jälkeen MMI-paneelin näkymä siirtyy perusikkunaan (**Kuvio 10**). Perusikkunassa ilmoitetaan sen hetkisen virran THD-arvo, suodattimen käytössä olevat moduulit, sekä suodattimen käyttötila.



Kuvio 10. MMI-paneelin perusikkuna

Mahdollisia suodattimen käyttötiloja ovat:

- RUN, eli MaxSine aktiivisuodatin on toiminnassa ja suodattaa harmoonista yliaaltosisältöä.
- SHUT DOWN, eli MaxSine aktiivisuodatin on pysäytetty ja releet ovat pois päältä.
- MANUAL STOP, eli MaxSine aktiivisuodatin on pysäytetty MMI-paneelin käyttäjän toimesta.
- EXTERN STOP, eli MaxSine aktiivisuodatin on pysäytetty ulkoisella katkaisijalla.

- ERROR STOP, eli MaxSine aktiivisuodatin on pysähtynyt virhe-toiminnan takia.
- STANDBY, eli MaxSine aktiivisuodatin on valmis päällekytkettäväksi.
- WARNING, eli MaxSine aktiivisuodattimen toiminnassa on ilmennyt virheitä.

Valikot joilla MaxSine aktiivisuodattimen toimintaa pääsee ohjaamaan löytyvät paneelin päävalikosta, jonne pääsee perusikkunasta painamalla ESC-näppäintä (**Kuvio 11.**). Mikäli tulee tarve palata takaisin perusikkunaan, sinne pääsee painamalla uudestaan ESC-näppäintä. Perusikkuna tulee esiin myös silloin, kun paneelia ei ole käytetty viiteen minuuttiin.



Kuvio 11. MMI-paneelin päävalikko

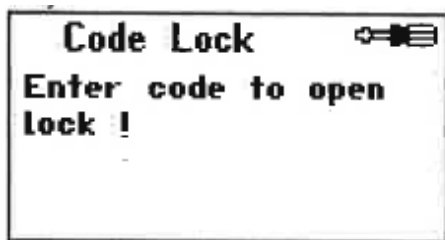
Päävalikossa on neljä vaihtoehtoa, joiden välillä voi liikkua nuolinäppäimillä. Halutun vaihtoehdon valitsemisen jälkeen seuraavan alavalikon saa auki painamalla Enter-näppäintä.

3.2.3 Measurements

Measurements-valikossa on laitteen reaaliaikaisia mittaustuloksia. Mittaustoiminnot kattavat: verkon jännitteen suuruuden ja taajuuden, jännitteen yliaaltopitoisuuden, kuorman saamia vaihevirtoja, virtojen yliaaltopitoisuutta, kuorman ottamien vaihevirtojen muotokertoimia, kaapin sekä IGBT-suuntaajan lämpötilan, sekä kondensaattorien tasavirran suuruuden. Measurements-valikossa ei ole kuitenkaan mitään asetuksia, mitä pitäisi tai edes voisi muokata.

3.2.4 Comissioning

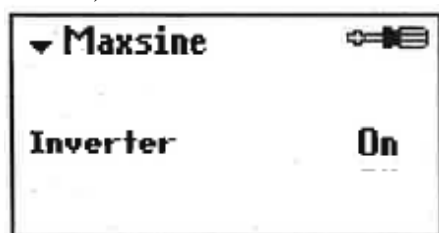
Comissioning, eli käyttöönottovalikko on nimensä mukaisesti tärkeä valikko laitteen käyttöönoton kannalta. Valikko on suojattu lapsilukolla. Comissioning-valikko valitaan painamalla enteriä, mutta asetuksia muuttaakseen pitää ohittaa lukitusikkuna (**Kuvio 12.**).



Kuvio 12. Lukitusikkuna joka suojaa laitteen tärkeitä asetuksia

Comissioning-valikon lukitusikkunan ja lapsilukon ohi pääsee painamalla yhtäaikaisesti kumpaakin suuntanuolta kolmen sekunnin ajan.

Comissioning-valikon ensimmäinen ikkuna määrittää onko invertteri päällä (**Kuvio 13.**).



Kuvio 13. Invertterin tila Comissioning-valikossa

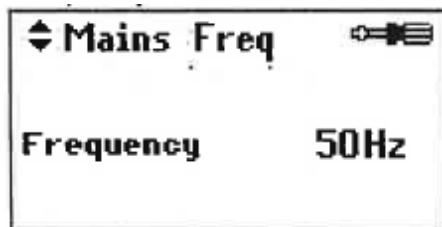
Invertterin tilalle on valittavissa kolme eri arvoa:

- On, eli MaxSine-aktiivisuodatin on toiminnassa ja suodattaa harmonista yliaaltosisältöä.
- Off, eli MaxSine-aktiivisuodattimen IGBT-invertterille ei päästetä virtaa, mutta suodatin on muuten valmiustilassa.
- Shut Down, eli MaxSine-aktiivisuodatin on täysin pois päältä.

Suodattimen standarditila on Shut Down, eli täysin pois päältä virran kytkemisen jälkeen. Alkuvaiheessa se on myös turvallisin asetus, suodattimeen voidaan kui-

tenkin tallentaa myös asetus, jolloin se aloittaa toimintansa välittömästi virrankytken jälkeen.

Seuraavasta asetusikkunasta saadaan valittua syöttävän verkon taajuus (**Kuvio 14.**).



Kuvio 14. Ikkuna, josta valitaan syöttävän verkon taajuus

Taajuuksia ei ole valittavana kuin kaksi: (Yleinen) 50 Hz ja (amerikkalainen) 60 Hz.

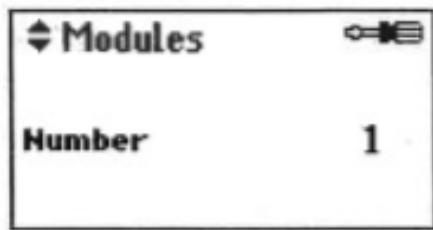
Seuraavasta ikkunasta määritellään suodattimen käyttämien virtamuuntajien koko (**Kuvio 15.**).



Kuvio 15. Ikkuna, josta määritetään virtamuuntajien koko

Virtamuuntajien koon tarkka määrittäminen on tärkeää suodattimen toiminnan kannalta. Pienin valittavissa oleva virtamuuntaja on muuntosuhteeltaan 100/1A, suurin 3000/1A.

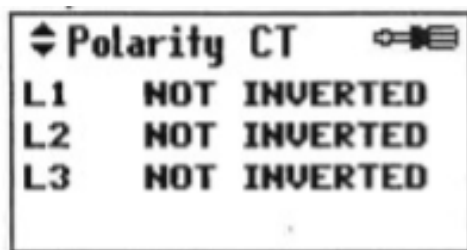
Seuraavassa valikkoikkunassa määritellään aktiivisuodattimen moduulien määrä (**Kuvio 16.**).



Kuvio 16. Ikkuna, jossa määritellään moduulien määrä

Yhden MMI-paneelin alaisuuteen voidaan asentaa useampia suodatinmoduuleja, koska yhden moduulin tehoraja ei välttämättä riitä kaikkiin sovelluksiin, missä suodatinta voidaan käyttää. MaxSine aktiivisuodatin tukee maksimissaan neljää rinnakkaista samaan MMI-paneeliin kytkettävää suodatinmoduulia. Standardimäärä asennetuille moduuleille on kuitenkin yksi ja sitä useamman moduulin käyttö jää luultavasti harvinaiseksi suodatinten elinkaaren aikana.

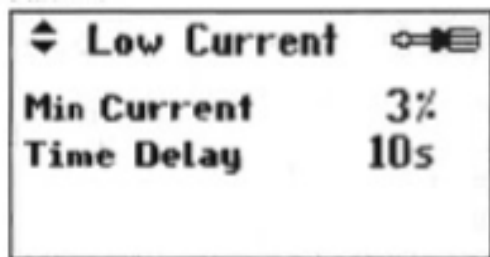
Seuraava valikko käsittelee virtamuuntajien mittapäiden suunta-asetuksia (**Kuvio 17.**).



Kuvio 17. Virtamuuntajien mittausten suuntavalikko

Mikäli virtamuuntajiin kytketyt mittapäät on asennettu asennusvaiheessa oikeinpäin, ei virtamuuntajien polariteettin muuttamiselle ole yleensä tarvetta.

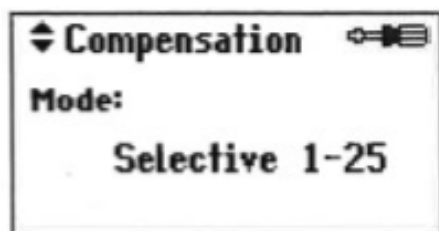
Seuraava valintaikkuna käsittelee alivirran asetuksia (**Kuvio 18.**).



Kuvio 18. Suodattimen alivirran asetukset

Mikäli kuormalle menevä virta on liian pientä, että MaxSine aktiivisuodatin toimisi enää millään järkevällä tavalla, IGBT-suodatin kytketään pois päältä virran säästämiseksi. Alivirran asetuksista pystytään määrittämään, milloin suodatin käynnistää virransäästötilan. Esimerkiksi asetuksilla: Min Current: 3%, Time Delay 10s, sekä virtamuuntajan ollessa 100/1A, IGBT-suodatin kytkeytyy pois päältä, kun kuorman virta on yli 10 sekuntia alle 3 ampeeria.

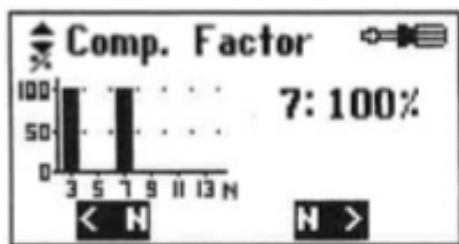
Seuraavasta valintaikkunasta valitaan suodattimen kompensaatiotapa (**Kuvio 19**).



Kuvio 19. Suodattimen kompensaatiotapa

Suodattimen oletusarvoinen kompensointitapa on: Selective 1-25. Oletusarvoisella kompensointitavalla suodatin muodostaa kuormalle menevistä virroista Fourier-muunnoksen. Muunnoksen jälkeen tällä kompensointitavalla suodatetaan oletusarvoisesti pois 25 ensimmäistä harmoonista yliaaltoja. Suodattimen voi asettaa Selective-moodin sijaan myös Realtime-moodiin, jolloin suodatin yrittää suodattaa kaikkea perusaallosta poikkeavaa yliaaltosisältöä. Realtime-moodi on kätevä nopeasti muuttuvan kuorman ja korkeataajuisien yliaaltojen kanssa, muuten suodatinta kannattaa käyttää Selective-moodissa.

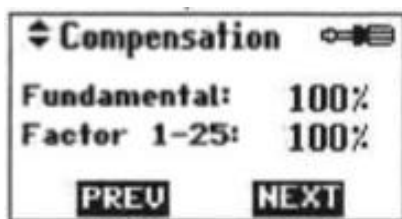
Moodin valintaikkunan jälkeen tulee kompensointikertojen säätöikkuna (**Kuvio 20**).



Kuvio 20. Kompensointikertoimien säätöikkuna

Moodinvalinnan jälkeen kompensointikerrointen säätöikkunasta voidaan valita kuinka voimakkaasti kutakin yliaaltoa suodatetaan. Säätöikkunaa voi käyttää lähinnä niissä tapauksissa, joissa joitain yliaaltoja halutaan päästää suodattimen läpi. Kompensointikertoimia voidaan säätää vain 25 ensimmäiselle yliaallolle. Realtime-moodi poistaa myös korkeamman taajuuden yliaaltoja, mutta niiden kompensointikertoimia ei voi säätää.

Seuraava valintaikkuna käsittelee tehokertoimen korjauksen säätöä (**Kuvio 21.**).



Kuvio 21. Tehokertoimen korjauksen säätö

MaxSine aktiivisuodatin voidaan säätää korjaamaan tehokerrointa. Kohdan Fundamental arvo määrittää, kuin tarkasti suodatin yrittää korjata tehokertoimen. Selective-moodissa Fundamental-arvo määrittää kuinka suuren määrän käytettävissä olevia resursseja suodatin käyttää tehokertoimen korjaukseen. Realtime-moodissa Fundamental-arvo määrittää kuinka suuren osan loistehosta suodatin jättää huomiota.

Factor 1-25 määrittää kuinka suuri osa harmonisista yliaalloista ja/tai loistehosta kompensoidaan perusaaltoon.

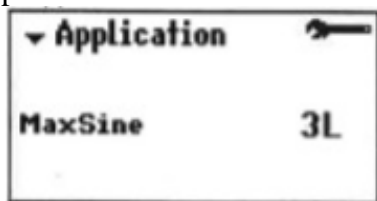
3.2.5 Alarms

MaxSine aktiivisuodatin kerää listausta laitteen kohtaamista virhetiloista Alarms-valikkoon. Normaalityltilanteessa valikko on tyhjä. Mikäli laite on kuitenkin kohdannut joitain virhetiloja, ne löytyvät lueteltuna valikosta aikajärjestyksessä.

3.2.6 Maintenance

Myös Maintenance-alavalikko on lapsilukon takana. Yleensä Maintenance- eli huoltovalikon asetuksia ei pidä muuttaa, joten lapsilukko on hankalampi, kuin Comissioning-valikossa. Päästäkseen käsiksi Maintenance-valikon asetuksiin, lukitusikkuna ohitetaan painamalla ensin nuolinäppäimet pohjaan kolmeksi sekunniksi, joiden lisäksi painetaan kolmen sekunnin kuluttua ESC-näppäintä.

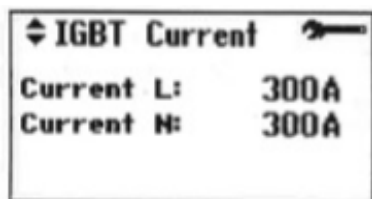
Ensimmäinen Maintenance-alavalikon ikkunoista (**Kuvio 22.**) kysyy MMI-paneelin kohdetta.



Kuvio 22. MMI-paneelin kohde

Kolmelle johtimelle tarkoitettussa suodattimessa on oletusasetuksena 3L, neljälle johtimelle tarkoitettussa suodattimessa oletusasetus on 4L. Ohjelmiston asetusten muuttaminen tilaan, joka on ristiriidassa käytettävän laitteiston kanssa, on mahdollista, mutta ei useinkaan kovin käytännöllistä.

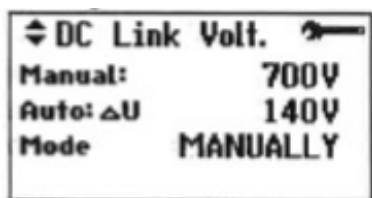
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 23.**) säädetään IGBT:n virtoja.



Kuvio 23. IGBT:n virransäätö

IGBT:n kollektorivirta määritetään tästä ikkunasta. Oletusarvoina käytetään kul-loisenkin invertterityypin standardivirtaa. 4L-käytössä voi olla tarvetta korkeam-malle nollajännitteelle, jolloin kollektorivirtaa joudutaan erikseen kasvattamaan.

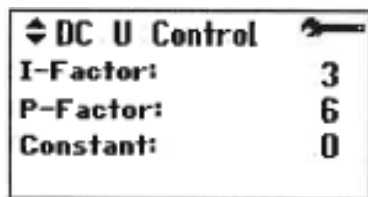
Seuraavassa ikkunassa (**Kuvio 24.**) määritellään tasavirtalähdön jännite.



Kuvio 24. Tasavirtalähdön jännite

Tasavirtalähdön jännite riippuu vaihejännitteestä. Standardiasetus on 700 voltia 140 voltin jännitevaihtelulla. Korkeammalla jännitteellä saadaan aikaan nopeam-pia virtapiikkejä. Joissain tapauksissa on tarpeen kompensoida nopeita virtapiik-kejä, jolloin voi olla käytännöllistä nostaa tätä arvoa. Toisaalta myös häviöt kas-vavat korkeammilla jännitearvoilla. Manuaaliasetuksella säädetään suoraan vaihe-jännitteen arvoa, automaattiasetuksella säädetään pääjännitteen differentiaalijän-nitteen suuruutta.

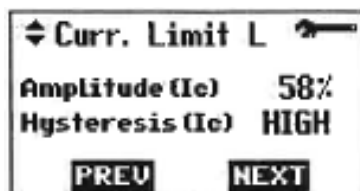
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 25.**) säädetään suodattimen verrannollisen integ-roinnin toimintaa.



Kuvio 25. Suodattimen PI-toiminta

Tasavirtalähteen jännittettä ohjataan verrannollisella integroinnilla. P-tekijä (=P-Factor) tekee integroinnista dynaamista, I-tekijä (=I-Factor) tarkkaa. Constant- eli muuttuja-sarake on ylimääräistä muuttujaa varten.

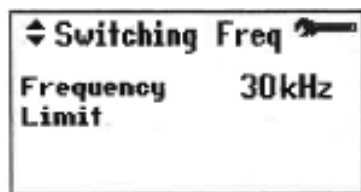
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 26.**) säädetään suodattimen ulostulon virtarajoja.



Kuvio 26. Vaiheen ulostulon virtarajat

Invertterin transistoreita on pakko suojella korkeilta virroilta asettamalla ulostulovirroille rajat. 4L-suodattimessa pitää säätää myös nollavaiheen ulostulon virtaraja, joka löytyy ikkunan alavalikosta. Joissain tapauksissa rajoitettu virta ei riitä kaikkien yliaaltovirtojen kompensointiin. Virran riittämättömyydestä tulee varoitusviesti MMI-paneeliin.

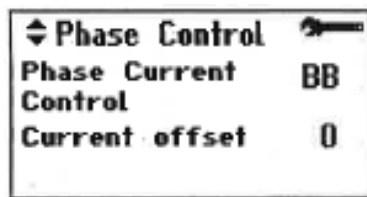
Seuraava ikkuna (**Kuvio 27.**) on suodattimen taajuusrajoitus.



Kuvio 27. Suodattimen taajuusrajoitus

Periaatteessa suodattimen pitäisi kytkeytyä päälle tai pois päältä, jos taajuusrajoitus ohitetaan. Suodatinvalmistajan manuaalin mukaan, toimintoa ei ole kuitenkaan mahdollista käyttää nykyisissä suodatinmalleissa.

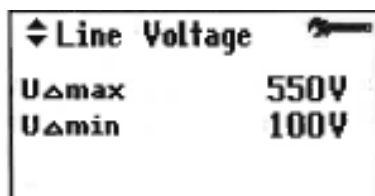
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 28.**) pitäisi pystyä säätämään vaihevirran hallintamoodia.



Kuvio 28. Vaihevirran hallintamoodi

Suodatinvalmistajan mukaan nykyiset suodattimet eivät tue tämänkään toiminnon säätämistä.

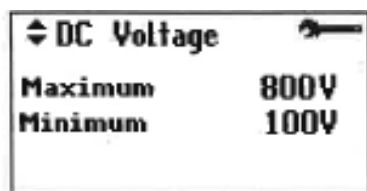
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 29.**) hallitaan vaihejännitteen rajoituksia.



Kuvio 29. Vaihejännitteiden rajat

IGBT-suuntaajia pitää suojella liian korkealta ja liian matalalta vaihejännitteeltä. Mikäli jänniteraja ylitetään tai alitetaan, suodatin kytkeytyy automaattisesti pois päältä ja antaa varoitusviestin.

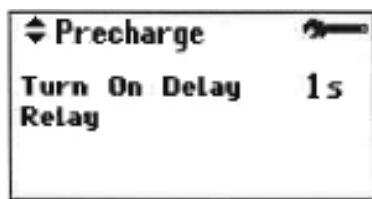
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 30.**) säädetään tasavirtalähteen jänniterajaa.



Kuvio 30. Tasavirtalähteen jänniterajat

Kondensaattoreiden ja IGBT-suuntaajien suojaamiseksi myös tasavirtalähteellä pitää olla jänniterajat. Mikäli näistä poiketaan, MMI-paneeliin tulee varoitusviesti.

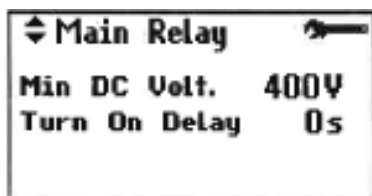
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 31.**) säädetään käynnistysviivettä.



Kuvio 31. Käynnistysviiveen säätö

Suodattimen kondensaattoreiden pitää olla latautuneita, ennen kuin suodatin toimii oikein. Käynnistysviiveen säädöllä määritellään, kuinka monta sekuntia kondensaattorit saavat latautumisaikaa ennen suodattimen päällekytkeytymistä. Oletusarvona tälle ajalle on 3 sekuntia.

Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 32.**) säädetään pääkytkennän käynnistysviivettä.



Kuvio 32. Pääkytkennän käynnistysviive

Pääkytkentä kytkeytyy päälle, kun tasavirtalähdön jännite nousee minimitasoon ja käynnistysviiveenä käytetty aika kuluu loppuun. Oletusarvoisesti odotetaan, että kuluu 3 sekuntia siitä, kun tasavirtalähdön jännite nousee 500:n volttiin.

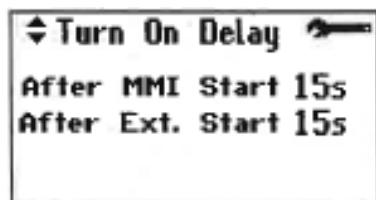
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 33.**) säädetään suodattimen uudelleenkäynnistysviivettä.



Kuvio 33. Suodattimen uudelleenkäynnistysviive

Kohdatessaan virheen tai varoituksen suodatin ei varotoimena seuraavalla käynnistyskerralla kytkeydy heti käytettäväksi. Oletusarvona on 3:n sekunnin viive sekä virheen, että varoituksen jälkeisen käynnistyksen aikana.

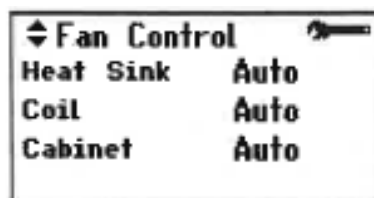
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 34.**) säädetään käynnistysviivettä käynnistyskäskyn jälkeen.



Kuvio 34. Käynnistysviive käynnistyskäskyn jälkeen

Käynnistysviive voidaan asettaa erikseen seuraamaan sekä MMI-paneelistä tullutta käynnistyskäskyä, että ulkoista käynnistyskäskyä.

Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 35.**) säädetään tuuletinten toimintaa.

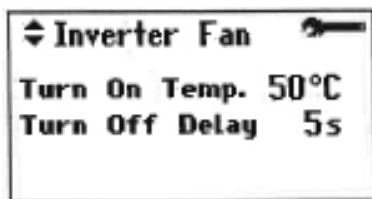


Kuvio 35. Suodatinkaapin tuuletinten toimitila

Tuulettimet voidaan säätää käynnistymään automaattisesti tietyssä lämpötilassa, tai ne voidaan käynnistää manuaalisesti.

Valmistaja ei lupaa, että tuulettimet saisi päälle automaattisesti käämin tai kaapin lämpötilan perusteella.

Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 36.**) säädetään invertterin tuulettimen käynnistysasetusta.



Kuvio 36. Invertterin tuulettimen käynnistysasetukset

Asetuksesta voi säätää missä lämpötilassa invertterin tuuletin käynnistyy. Lisäksi tuulettimelle voi määrittää muutaman sekunnin käynnistysviiveen, jotta invertterin lämpötilan jatkuva liikkuminen rajalämpötilassa ei jatkuvasti vuorotellen kytke tuuletinta päälle ja pois päältä.

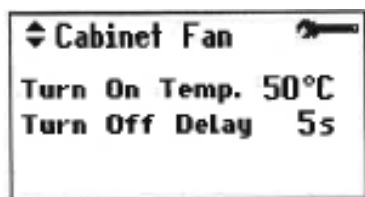
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 37.**) säädetään käämin tuulettimen käynnistyslämpötilaa.



Kuvio 37. Käämin tuulettimen käynnistysasetukset

Valittavina taas lämpötila, jossa tuuletin kytkeytyy päälle, sekä tuulettimen käynnistysviive. Valmistaja ei kuitenkaan lupaa, että kyseinen asetus toimii nykyisillä suodattimilla.

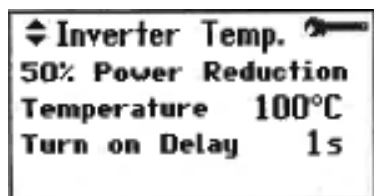
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 38.**) säädetään kaapin tuulettimen käynnistyslämpötilaa.



Kuvio 38. Kaapin tuulettimen käynnistysasetukset

Valittavina edelleen lämpötila, jossa tuuletin kytkeytyy päälle, sekä tuulettimen käynnistysviive. Valmistaja ei kuitenkaan lupaa, että tämäkään asetus toimii nykyisillä suodattimilla.

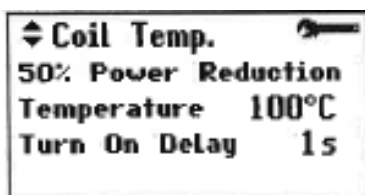
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 39.**) säädetään tehonrajoitusta invertterin ylikuumenemisessä.



Kuvio 39. Invertterin tehonpuolitus ylikuumenemisen estämiseksi

Invertterin teho puolitetaan, jos invertterin lämpötila ylittää tietyn kynnyksen. Sekä lämpötilaraja, että viive tehonpuolitukseen, ovat vapaasti säädettävissä.

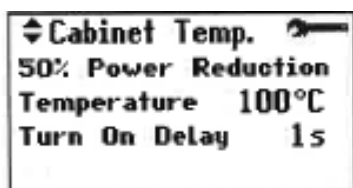
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 40.**) säädetään tehonrajoitusta käämin ylikuumenemisessä.



Kuvio 40. Käämin tehonpuolitus ylikuumenemisen estämiseksi

Käämin teho puolitetaan, jos käämin lämpötila ylittää tietyn kynnyksen. Sekä lämpötilaraja, että viive tehonpuolitukseen, ovat vapaasti säädettävissä. Valmistaja ei kuitenkaan lupaa, että tämä asetus toimisi kaikissa suodattimissa.

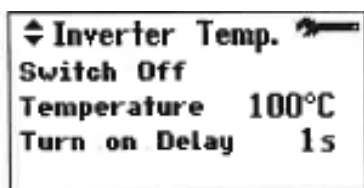
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 41.**) säädetään tehonrajoitusta kaapin yllilämpötilassa.



Kuvio 41. Kaapin tehonpuolitus yllilämpenemän estämiseksi

Kaapin teho puolitetaan, jos kaapin lämpötila ylittää tietyn kynnyksen. Sekä lämpötilaraja, että viive tehonpuolitukseen, ovat vapaasti säädettävissä. Valmistaja ei kuitenkaan lupaa, että tämä asetus toimisi kaikissa suodattimissa.

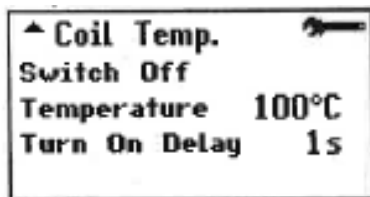
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 42.**) säädetään invertterin poiskytketymistä yllilämpötilassa.



Kuvio 42. Invertterin poiskytketymisasetukset yllilämpötilan sattuessa

Invertteri kytkeytyy automaattisesti pois päältä, mikäli se lämpenee liikaa. Poiskytketymislämpötila ja viive ovat vapaasti säädettävissä. Yleensä on suositeltavaa, että ennen automaattista poiskytkentää invertterin teho puolitetaan edeltävillä asetuksilla. Automaattiseen poiskytkentään voidaan päätyä esimerkiksi tuuletinvi-
kojen takia. Automaattisen poiskytkennän sattuessa MMI-paneeliin tulee siitä hälytysviesti.

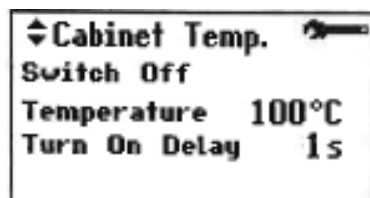
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 43.**) säädetään käämin poiskytketymistä yllilämpötilassa.



Kuvio 43. Käämin poiskykeytymisasetukset yllämpötilan sattuessa

Teoriassa tällä voi säätää käämin poiskykeytymislämpötilaa. Valmistaja ei kuitenkaan lupaa, että tämä toimisi nykyisillä suodattimilla. Jokatapauksessa käämi kytkeytyy automaattisesti pois päältä yltäessään 125:n celsius-asteen lämpötilan.

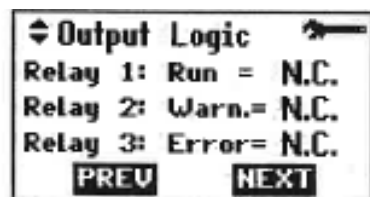
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 44.**) säädetään kaapin poiskykeytymistä yllämpötilassa.



Kuvio 44. Kaapin poiskykeytymisasetukset yllämmön sattuessa

Teoriassa tästä voisi säätää lämpötilaa missä kaappin kytkeytyy pois päältä. Valmistajan mukaan tämä ei kuitenkaan toimi kaikilla suodattimilla.

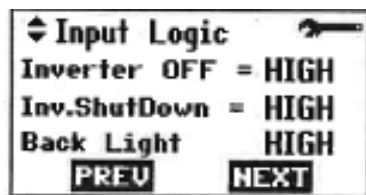
Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 45.**) voidaan säätää suodattimen kytkinmääräyksiä.



Kuvio 45. Suodattimen kytkinmääräykset

Kytkimille on säädettävissä kahdenlaista asetusta. Kytkin voi olla normaalitilassaan auki (N.O.), tai normaalitilassaan suljettu (N.C.). Tästä ikkunasta suodattimen kytkimet voi säätää aukeamaan automaattisesti suodattimen kohdatessa virhetilan, tai jopa normaalikäynnin aikana.

Seuraavasta ikkunasta (**Kuvio 46.**) voidaan säätää sisääntulologiikoiden prioriteetteja.



Kuvio 46. Sisääntulologiikoiden prioriteettien säätö

Sisääntulologiikoiden prioriteettiä voidaan muuttaa korkean ja matalan välillä. Standardiasetuksena kaikkien prioriteetti on korkea.

4 SÄHKÖN LAATU

Sähkökulutuksen ja verkkoon kytkettävien kuormien monimuotoisuuden jatkuva kasvu luo osaltaan kasvavia ongelmia ja vaatimuksia verkkosähkön laadulle. Osa sähköverkkojen kuormituksista ottaa verkosta epäsinimäistä virtaa, vaikka jännite olisikin sinimuotoista. Tällöin kuormaa voidaan tarkastella yliaaltolähteenä, joka syöttää verkkoon yliaaltovirtoja. Erityisesti nykyaikainen elektroniikka, tietokoneissa käytetyt hakkuriteholähteet, taajuusmuuttajat, ja purkauslamput ovat omiaan luomaan verkkoon yliaaltosisältöä. Yliaalloiksi kutsutaan kaikkia jännitteitä ja virtoja, jotka ylittävät normaalin verkkotaajuuden (50 Hz). Normaalitapauksessa yliaallot ovat taajuuksiltaan normaalin verkkotaajuuden kerrannaisia, eli ns harmonisia yliaaltoja. Yliaalloista yleisimpiä ovat alimmat parittoman kertoimen yliaallot, eli kolmas harmoninen yliaalto (150 Hz), viides harmoninen yliaalto (250 Hz), sekä seitsemäs harmoninen yliaalto (350 Hz).

Yliaaltojen suurin haittavaikutus on niiden aiheuttama kuormitus sähköverkkoon. Yliaaltovirrat lisäävät järjestelmän siirtohäviöitä, sekä aiheuttavat lämpenemiä johtimiin ja jakelumuuntajiin. Erityisen ongelmallista on se, että yliaaltovirrat lisäävät nollajohtimien, joita ei suojata sulakkeilla, kuormitutusta. Sähköverkon passiivisen suojaamisen, sulakkeilla ja varmuuskertoimien mukaisella mitoituksella, lisäksi nykyaikaiset sähköverkot tarvitsevat usein aktiivisia suojatoimia, kuten erilaisten suodattimien käyttöä. Suojauksen tason parantuessa myös tietämyksemme sähkön laadun määrittelystä laajenee jatkuvasti.

Tekniikan kehittyessä standardit ja säännöt sähkön laadulle tiukkenevat. Nykyisin sallitaan sähkönjakeluverkon jännitteelle THD-arvoltaan suurimmillaan kahdeksan prosentin yliaaltopitoisuus. Kuluttajan puolen yliaaltopitoisuuden standardit ja säännöt eivät ole niin tiukkoja.

Tasavirralla käytetään usein sähkön laadun kuvaajana virran muotokerrointa. Myös MaxSine-aktiivisuodattimen sisäiset mittaustoiminnot ilmoittavat kulloisenkin suodatettavan virran muotokertoimen. Muotokerroin kuvaa tehollisarvon suhdetta (tasasuunnattuun) keskiarvoon.

$$m = \frac{I}{I_{ka}} \quad (1)$$

Vaihtojännitteellä muotokerroin ei kuitenkaan ole kovin havainnollinen tapa esittää sähkön laatua.

Vaihtojännitteellä sähkön yliaaltopitoisuutta kuvataan usein THD-arvoilla. Lyhennys THD tulee sanoista Total Harmonic Distortion, eli kokonaissärö. THD-arvoja on kaksi, (yliaaltosisältö) THD-R ja THD-F. Harvemmin käytetty yliaaltosisältö THD-F lasketaan yliaaltojen tehollisarvon suhteena kokonaistehollisarvoon.

$$k = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I} \quad (2)$$

THD-F:ää, eli yliaaltosisältö k:ta tavataan vanhemmassa kirjallisuudessa ja joissain teknisissä laitteissa, jolloin se tulee tunnistaa. Myös MaxSine-aktiivisuodattimen mittaukset ilmoittavat virran yliaaltopitoisuuden yliaaltosisältö k:na.

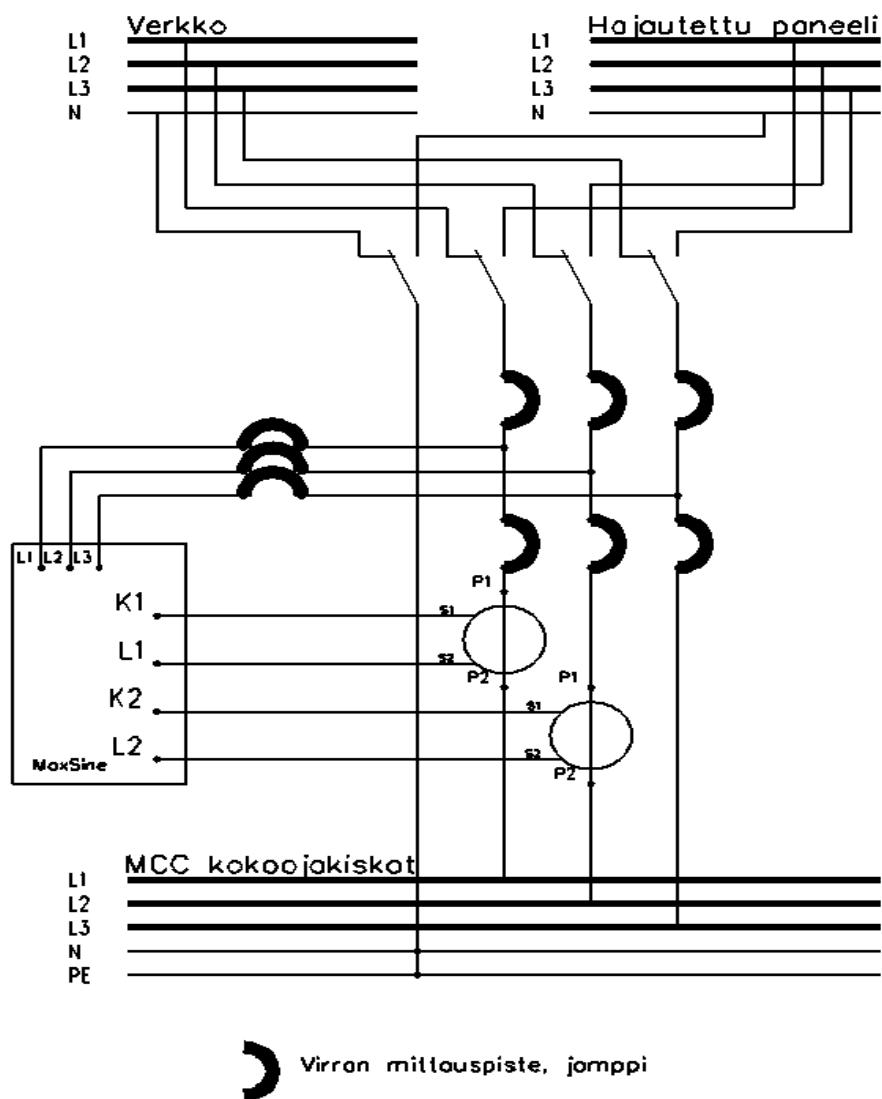
Nykyään yleisemmin käytetään THD-lukemana THD-F:ää, joka on havainnollisempi yliaaltovirtojen kuvaamiseen, koska siitä saadaan suurempi vaihteluväli. THD-F:ssä yliaaltojen tehollisarvoa verrataan perusaallon tehollisarvoon.

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \quad (3)$$

THD-arvo usein kerrotaan myös sadalla, jolloin saadaan prosenttiluku, joka ilmoittaa kuinka suuri osa virrasta on perusaallon lisäksi yliaaltosisältöä. /2/

5 AKTIIVISUODATTIMEN KYTKENTÄ MCC:HEN

Laboratorion MaxSine-aktiivisuodatin on kytketty ohjeiden mukaisesti rinnakkain kuorman kanssa (**Kuvio 47.**).



Kuvio 47. MaxSine-suodattimen kytkentä MCC:hen

Kuormana käytetään laboratorion moottorikeskusta, josta myöhemmin käytetään nimitystä MCC. MCC voi saada syötön suoraan laboratorion verkosta, mutta se on vaihtokykimellä kytkettävissä myös laboratorioon rakennettavaan ns. hajaute-tun mallin paneeliin. Normaalitylissa suodatin korjaa vaihevirtaa mahdollisimman sinimuotoiseksi. Pienillä virroilla sinimuotoisuus ei ole kuitenkaan välttämättä

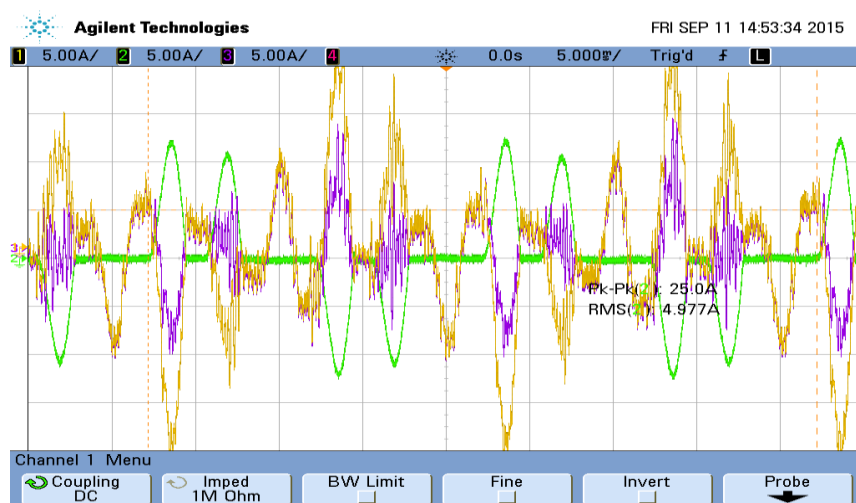
kovin ilmeistä, virran yliaaltopitoisuuden vuoksi. Oskilloskooppi-kuvasta on nähtävissä toteutuuko suodatus oikein (**Kuvio 48.**).



Kuvio 48. Oikein kytketyn vaiheen kompensointivirran tilanne

Laboratoriomittauksissa törmättiin ongelmaan kahden vaiheen virran suodatuksen kanssa. Niissä suodatuksen seurauksena yliaaltopitoisuus vain kasvoi.

Myöhemmin ilmeni, että kyse on keskenään vaihtuneista vaiheista, eli tilanteesta, jossa suodattimen kompensointivirrat menivät väärin vaiheisiin ja kompensoinnin sijaan pahensivat tilannetta entisestään. Onkin syytä noudattaa huolellisuutta sen suhteen, miten suodatin on kytketty ja miten se kompensoi virran yliaaltoja. Kytkentävirheen seurauksena viallisen vaiheen virrat käyttäytyivät oheisen oskilloskooppikuvan 49 mukaisesti.



Kuvio 49. Epäonnistunut vaihevirran kompensointi, vaihevirta keltaisella

6 TESTEISSÄ KÄYTETYT MITTARIT

Tärkein mittauksiin käytetty mittari oli Chauvin Arnoux C.A 8336 (Qualistar+). Mittarin monimuotoiset mittaustoiminnot ja kyky kommunikoida tietokoneen kanssa luovat mahdollisuuden laadukkaiden automaattisten mittausraporttien luomiseen. Mittari oli läsnä jokaisessa mittauksessa (**Kuvio 50.**).



Kuvio 50. Chauvin Arnoux C.A 8336 -mittari mittauskäytössä

Lisää tietoa Chauvin Arnoux C.A 8336:sesta liitteessä 2. /3/

Tehonmittauksissa käytettiin myös laajalti Voltechin PM6000 Universal Power Analyseriä. Virtakäyrien kuvamiseen käytettiin Agilentin oskilloskooppia. Lisäksi mittausten apuvälineinä käytettiin laajaa valikoimaa yleismittareita yleisen jännite- tai virtatason testaamiseen ja ylipäättään sekä kytkentöjen virrallisuuden tarkistamiseen.

7 TOIMINTOJEN TESTAUS TAAJUSMUUTTAJAKUORMALLA

Aktiivisuodatin on suunniteltu kompensoimaan kuorman aiheuttamaa yliaaltosisäältä. Testauksen suhteen on havainnollista testata toimintakykyä aiheuttamalla kuormalla mahdollisimman suuri yliaaltosisältö. Laboratorio-olosuhteissa kuormaksi voidaan valita taajuusmuuttajia ja niiden taakse sähkömoottoreja. Näin saavutetaan helposti suuri yliaaltosisältö kohtalaisen suurella virralla.

7.1 Kuormitukset

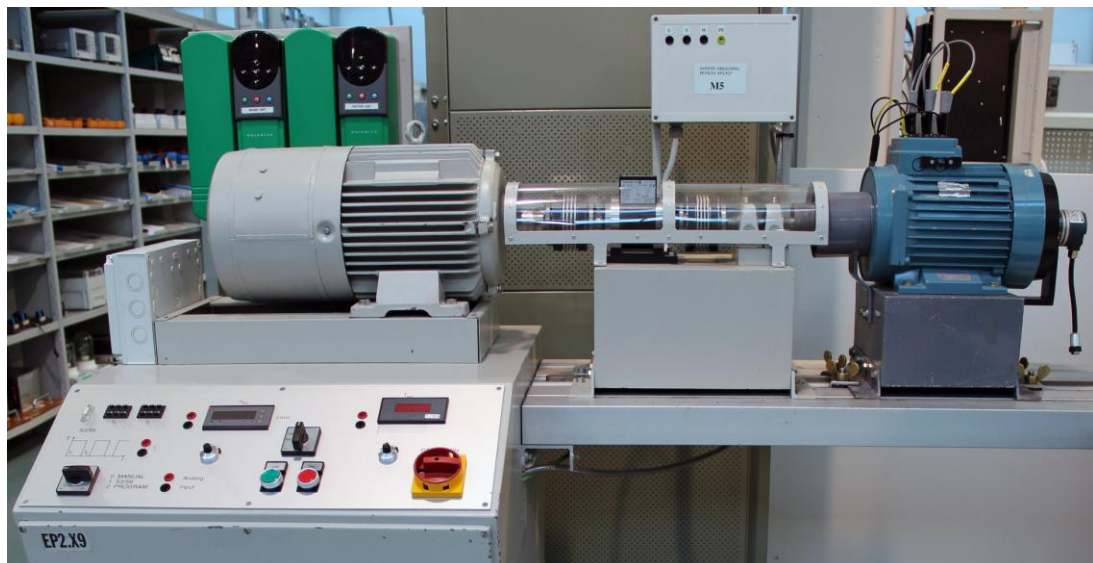
Laboratorion moottorinohjauskeskuksessa oli kaksi sisäänrakennettua ABB:n ACS880-taajuusmuuttajaa (**Kuvio 51.**).



Kuvio 51. Moottorinohjauskeskus, oikeassa laidassa taajuusmuuttajat

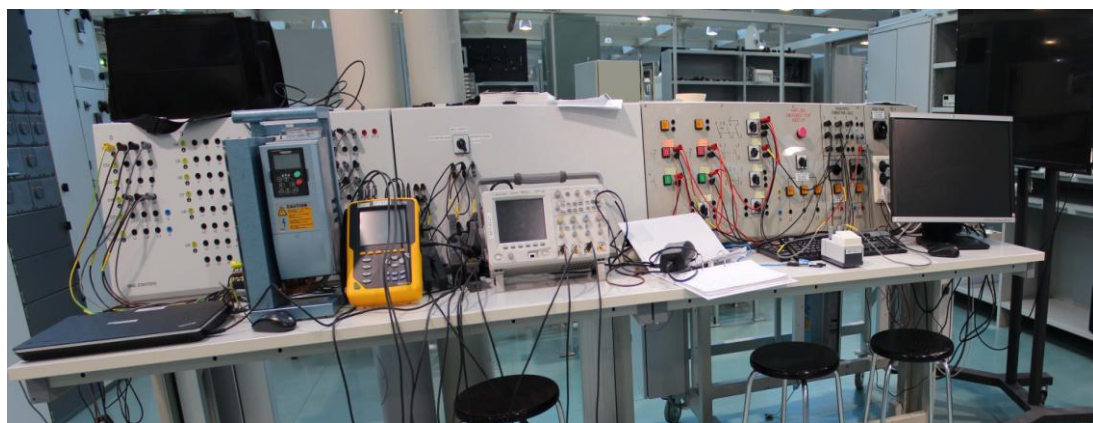
Taajuusmuuttajat parametroidiin yksinkertaisesti, pyörittämään moottoreita moottorien nimellisellä kierrosnopeudella. Taajuusmuuttajien taakse valittiin kaksi vanhaa ABB:n MT100LA28-4-moottoria. Moottorit toimivat 400 voltin nimelljännitteellä, nimellisvirta on 5,2 ampeeria, nimellinen kierrosnopeus 1420 kierrosta/minuutti, nimellistaajuus 50 Hz, sekä nimellisteho 2,2 kW.

Moottorit asennettiin moottoripenkkeihin, joissa on vaakakone mahdollistamassa moottorien käytön nimellismomentilla (**Kuvio 52.**).



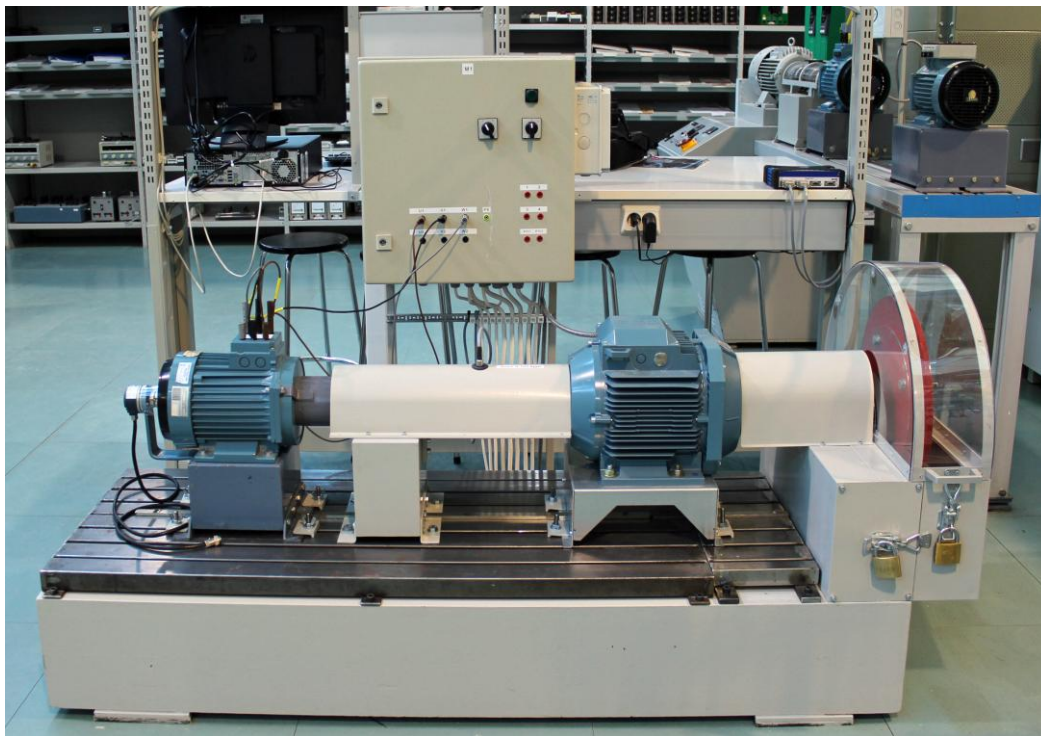
Kuvio 52. Moottoripenkki, jossa kytkettynä testissä käytetty moottori

Kuormituksen lisäämiseksi testiin valjastettiin myös kolmas taajuusmuuttaja ja sen taakse moottori. Taajuusmuuttajakäyttöön valittiin Vaconin NXP-sarjan 0095-moduuli. Taajuusmuuttaja parametroitiin pyörittämään moottoria nimellisa nopeudella ja se sijoitettiin mittaripöydälle (**Kuvio 53.**).



Kuvio 53. Työpöydällä testissä käytettyjä mittareita ja Vaconin taajuusmuuttaja

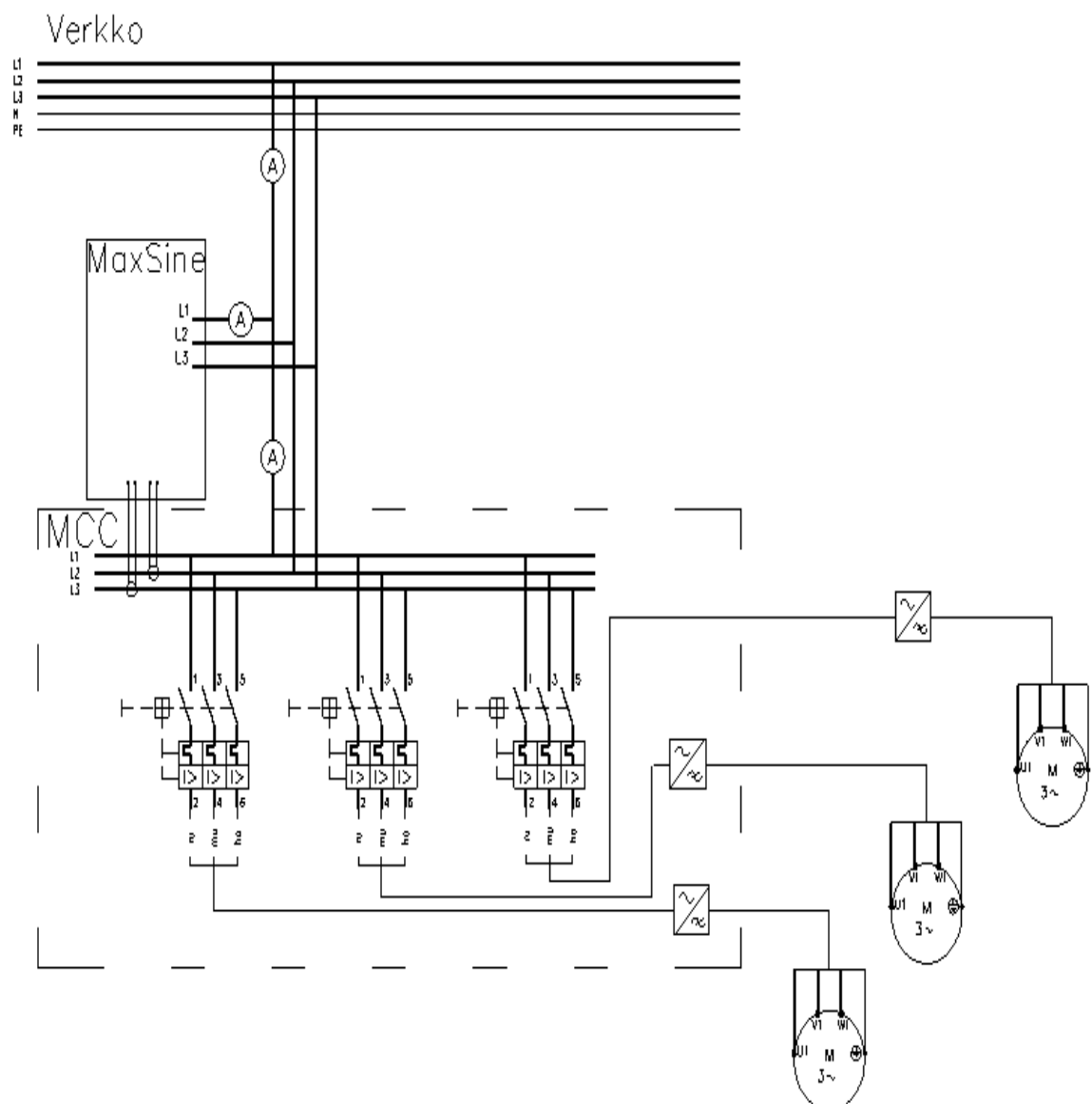
Moottorina toimi samantyyppinen ABB:n MT100LA28-4, kuin muissa moottoripenkeissä. Tämäkin moottori kytkettiin moottoripenkkiin, jossa oli kuormana taajuusmuuttajan kautta verkkoon tehoa syöttävä oikosulkumoottori ja akselilla lisäkiekkoja hitausmomentin kasvattamiseen (**Kuvio 54.**).



Kuvio 54. Moottoripenkki, jossa kolmas testauksessa käytetty moottori

7.2 Kuormien kytkentä

Lopullisessa kytkennässä oli siis käytössä kolme taajuusmuuttajaa, joiden kaikkien takana oli sähkömoottori. Virranmittaus suoritettiin niin, että yhteen vaiheeseen kytkettiin verkosta tulevalle virralle virranmittaus ja sitten kuormalle menevälle, että suodattimelta tulevalle virralle omat mittauksensa. Näinollen Kirchhoffin virtalain mukaisesti saatiin aikaan mittaus, jossa verkosta tuleva virta on suodattimelta tulevan ja moottoreille menevien virtojen summa.

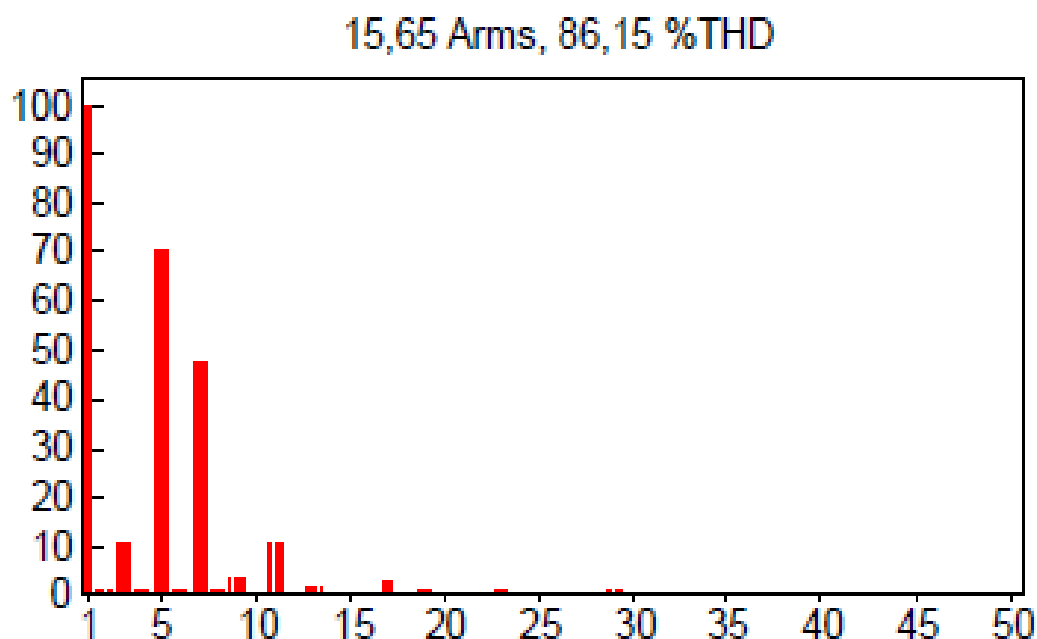


Kuvio 55. Yksinkertaistettu piirros mittauskytkennästä

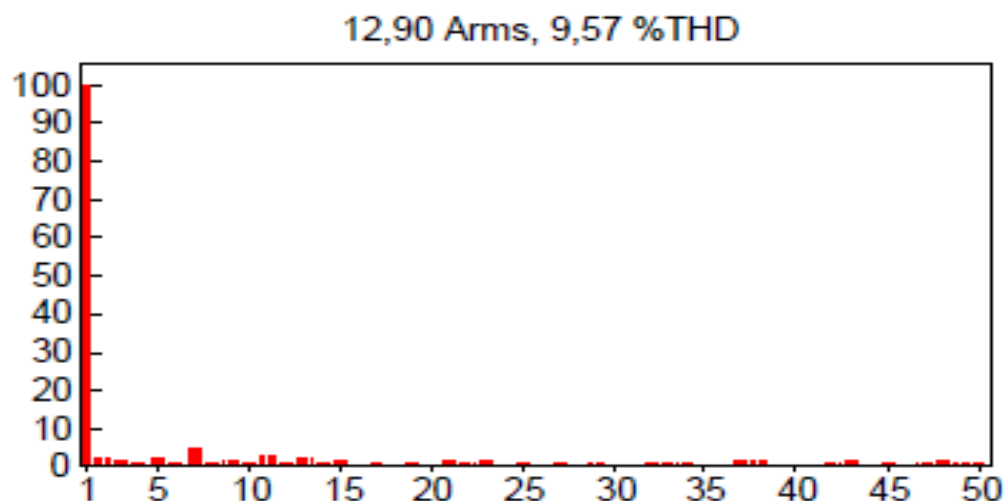
7.3 Yliaaltojen suodattaminen eri kuormituksilla

Aktiivisuodatinta päätettiin kuormittaa neljällä eri mittauksella: kolme käyvää moottoria kuormitettuna normaalimomentilla, kaksi käyvää moottoria kuormitettuna, yksi käyvä moottori kuormitettuna normaalimomentilla, sekä yksi moottori tyhjäkäynnissä. Kolmen moottorin yhtäaikainen käyttäminen ottaa suurimman virran, yhden moottorin tyhjäkäynti pienimmän. Yhden moottorin tyhjäkäynti on oletusarvoisesti suodattimelle vaikein tilanne, virran ollessa pieni ja virran yliaaltopitoisuus suuri. MaxSine-suodattimen pienin sallima virtamuuntajan ensiönimellisvirta on 100A, joten mittauksilla haluttiin selvittää myös kuinka pienellä virralla toiminta on vielä luotettavaa.

Ensimmäisenä varsinaisena testinä testattiin kolmen moottorin käyttöä normaalimomentilla. Verrattiin kuormituksen verkosta ottaman virran yliaaltopitoisuutta ilman suodatinta, aktiivisuodattimen luoman verkkovirran yliaaltopitoisuuteen.

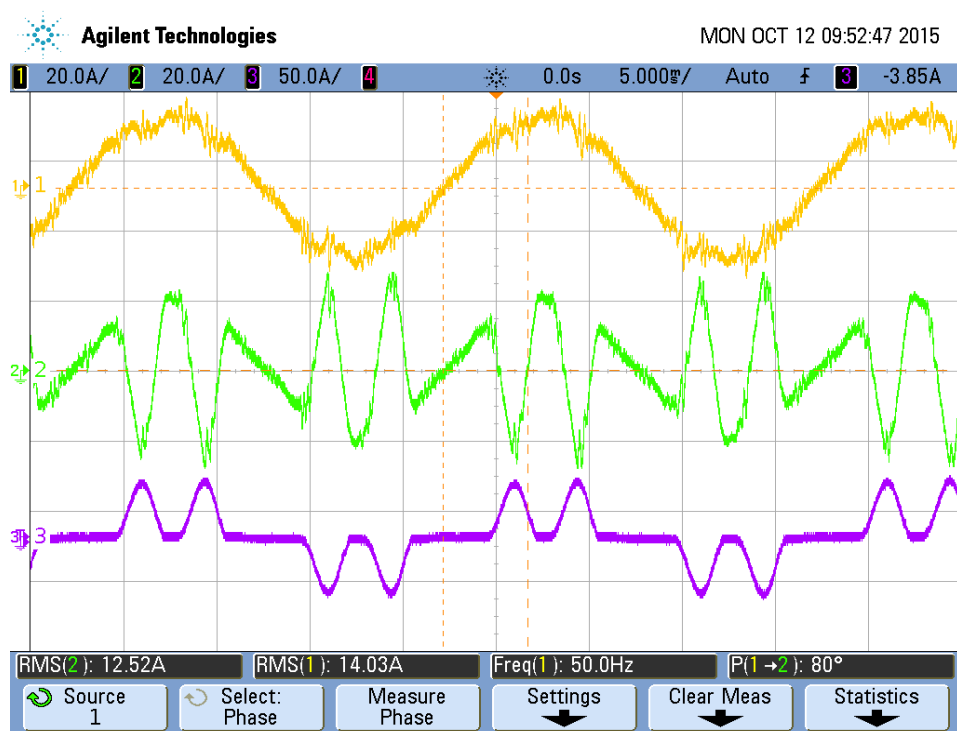


Kuvio 56. Suodattamaton kolmen moottorin virtojen spektri



Kuvio 57. Suodatettu kolmen moottorin virtojen spektri

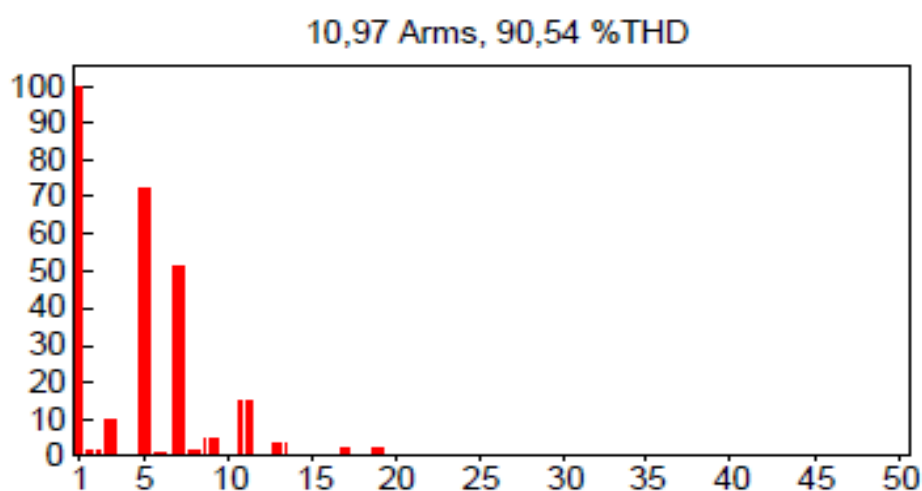
Oskilloskooppi asetettiin kuvaamaan suodattimen toimintaa kompensointityössä. Kuvissa verkkovirta on esitetty keltaisella, suodattimen kompensointivirta vihreällä ja taajuusmuuttajakäytön ottama virta violetilla.



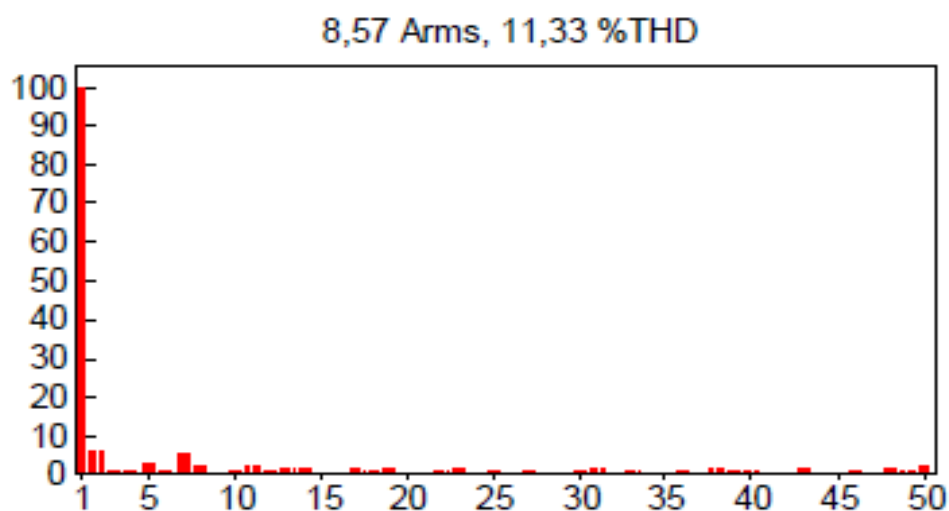
Kuvio 58. Oskilloskooppikuva kolmen moottorin virtojen suodattamisesta

MaxSine-aktiivisuodattimella on suuri vaikutus kolmen normaalimomentilla käytetyn moottorin verkosta ottamaan virtaan. Suodattaminen poistaa noin 89 % moottorien ottamasta yliaaltosisällöstä.

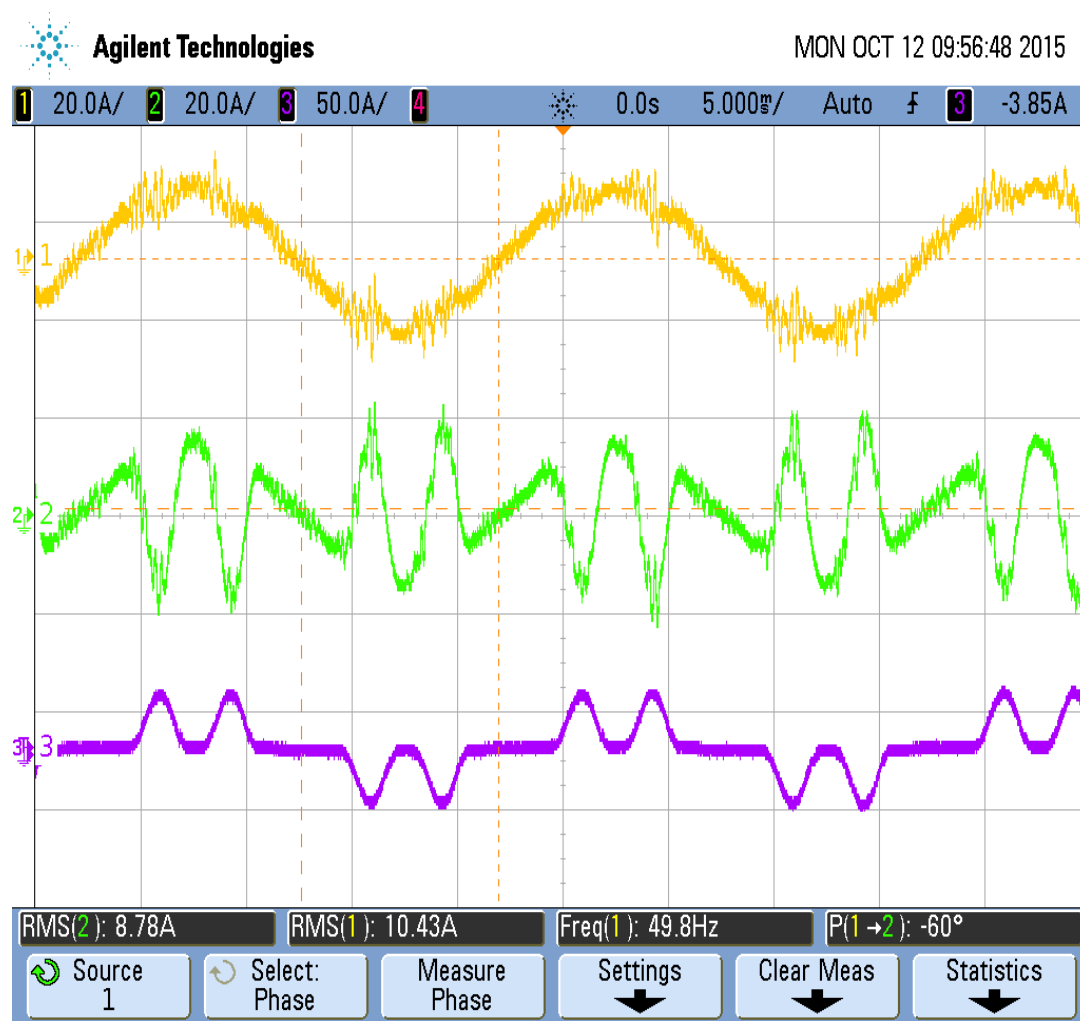
Seuraavaksi testattiin tilannetta, jossa verkkoa kuormitettiin kahdella normaalimomentilla käytetyllä moottorilla. Luotiin taas verrokkutilanne, jossa verkkovirtaa ei suodatettu ollenkaan ja sen jälkeen mittaukset suodatinkäytön kanssa.



Kuvio 59. Suodattamaton kahden moottorin virtojen spektri



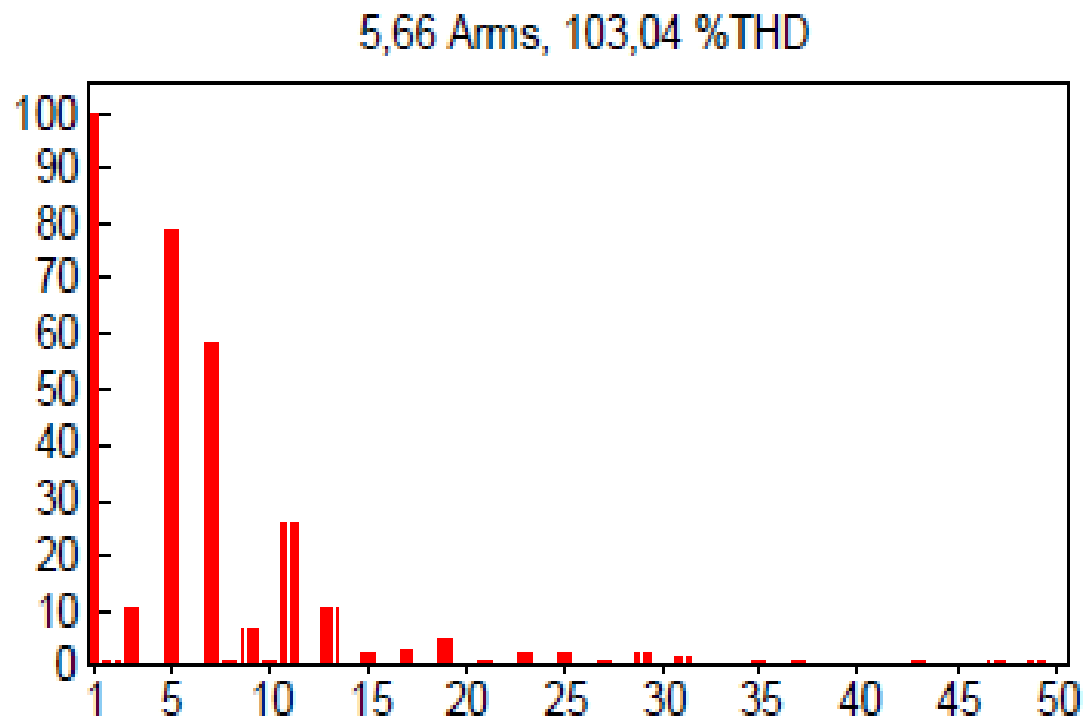
Kuvio 60. Suodatettu kahden moottorin virtojen spektri



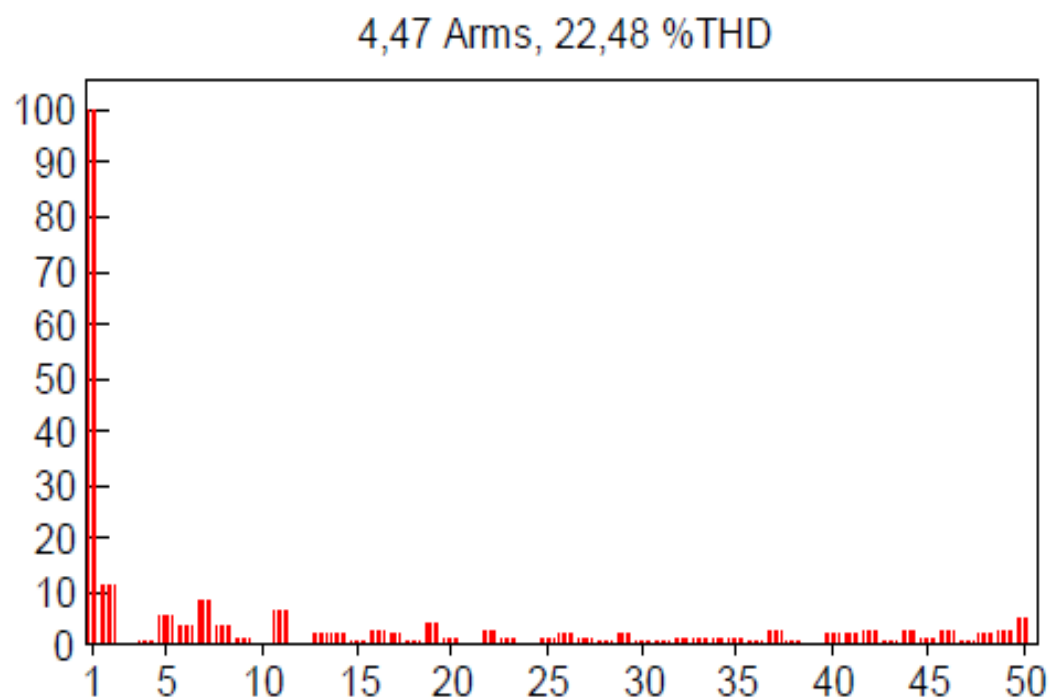
Kuvio 61. Oskilloskooppikuva kahden moottorin virtojen suodattamisesta

MaxSine-aktiivisuodatin poistaa kahden normaalimomentilla käytetyn moottorin tuottamasta yliaaltosisällöstä noin 88 %.

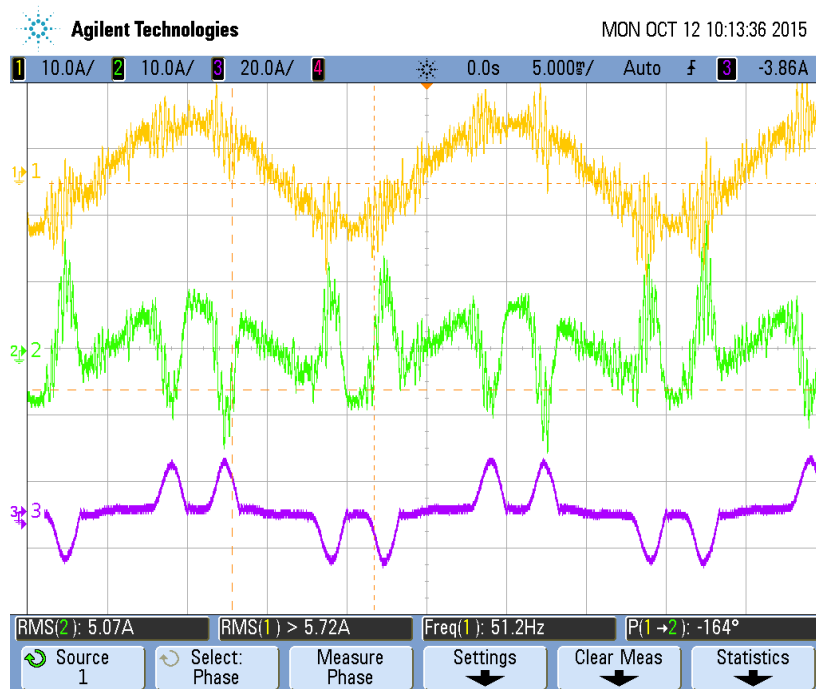
Sitten luotiin tilanne, jossa yhden normaalimomentilla käytetyn moottorin verkosta ottamaa virtaa suodatetaan aktiivisuodattimella. Mittaukset aloitettiin taas luomalla verrokkitilanne, jossa verkkosta otettua virtaa ei suodatettu. Sen jälkeen kytkettiin aktiivisuodatin päälle ja tutkittiin yliaaltosisältöpitoisuuden muutosta.



Kuvio 62. Suodattamaton normaalimomentilla käyvän moottorin virran spektri



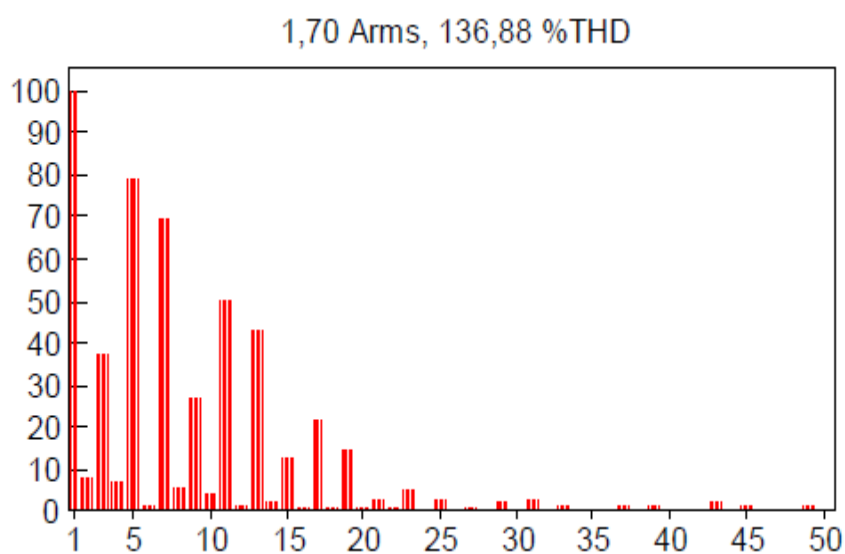
Kuvio 63. Suodatettu normaalimomentilla käyvän moottorin virran spektri



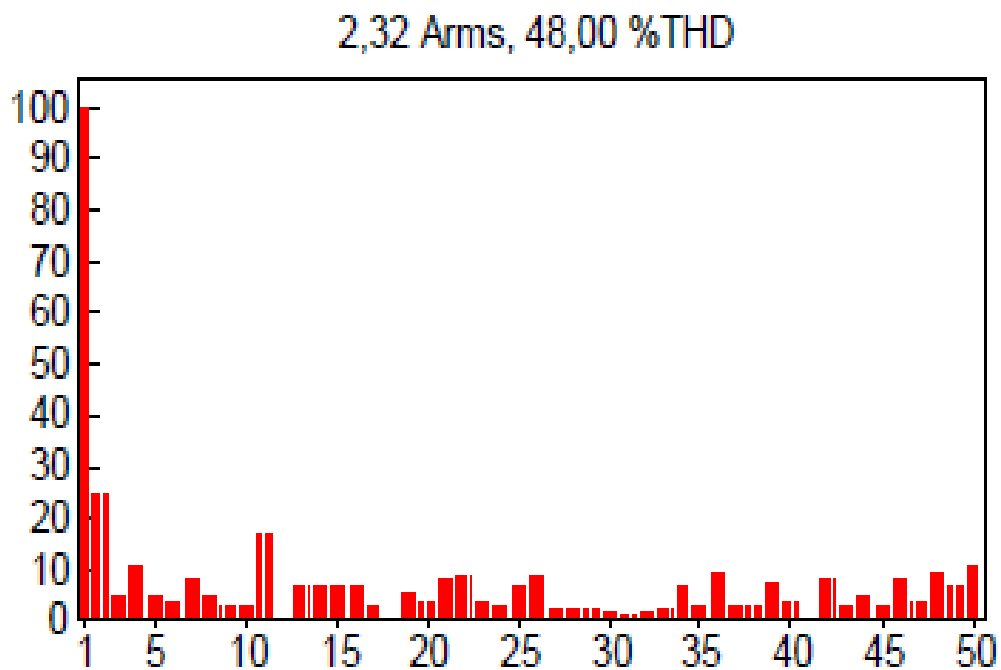
Kuvio 64. Oskiloskooppikuva normaalimomentilla käytetyn moottorin virrasta

Yhden normaalimomentilla käytetyn moottorin ottaman verkkovirran suodattaminen poisti noin 78% kuormituksen aiheuttamasta yliaaltosisällöstä.

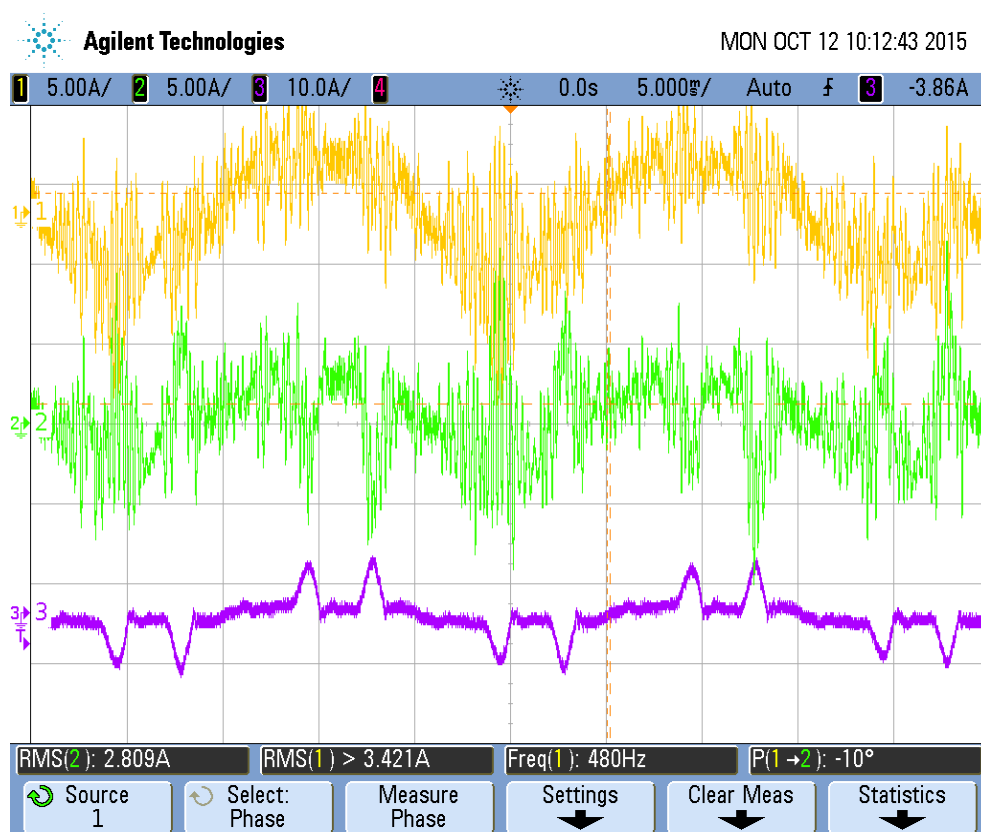
Viimeisenä testiajona oli yhden tyhjäkäynnissä toimivan moottorin verkosta otta-
man virran suodattaminen. Ennakko-arvioiden mukaan kyseinen tilanne on suo-
dattimelle hankalin pienen virran ja suuren yliaaltopitoisuuden vuoksi



Kuvio 65. Suodattamaton tyhjäkäyvän moottorin virran spektri



Kuvio 66. Suodatettu tyhjäkäynnin moottorin virran spektri



Kuvio 67. Oskilloskooppikuva tyhjäkäynnissä käynnin moottorin virrasta

MaxSine-aktiivisuodatin suodatti noin 65 % tyhjäkäynnissä käyvän moottorin luomasta yliaaltosisällöstä. Tilanne on hyvin siedettävä ja suodattamisen vaikutus on edelleen silminnähtävä virran spektristä ja oskilloskooppikuvasta.

7.4 Yhteenveto

Testitulosten perusteella MaxSine-aktiivisuodatin selviytyy mainiosti taajuusmuuttajakuorman virran suodatustehtävästä. Jopa taajuusmuuttajalle vaikeimmasa kuormitustilanteessa, jossa oli pieni virta ja suuri yliaaltopitoisuus, suodatin kykenee parantamaan oleellisesti verkkovirran muotoa.

8 TOIMINTOJEN TESTAUS KUUSIPULSSISUUNTAAJAL- LA

Toisessa mittauksessa käytettiin kuormituksena tyristoriohjatulla kuusipulssisuuntaajalla käytettyä tasavirtamoottoria. Kuusipulssisuuntaaja luo tasasuunnattua jännitettä tasavirtamoottorille, jonka suuruudella määritellään moottorin pyörimisnopeus. Tasasuunnatun jännitteen keskiarvo noudattaa yhtälöä:

$$U_{di\alpha} = U_{di} \cos \alpha \quad (4)$$

, jossa α on suuntaajan tyristorien ohjauskulma.

Ohjauskulma määrittää, milloin tyristorit alkavat päästämään virtaa läpi. Mitä pienemmällä nopeudella moottoria halutaan pyörittää, sitä suurempi ohjauskulma tyristoreille pitää säätää. Koska ohjauskulma on sama kuin jännitteen ja virran perusaallon vaihesiirto, suurella ohjauskulmalla kuusipulssisuuntaaja ottaa hyvin loistehopitoista jännitettä.

Suuntaajakäytössä loisteho muodostuu sekä vaihesiirrosta ns. ohjausloistehona että yliaaltojen aiheuttamasta särötehosta.

Ohjausloisteho:

$$Q_1 = Q_a = U_{di} * \cos \alpha \quad (5)$$

Säröteho:

$$D = 3 * U_v * I_z \quad (6)$$

Kokonaisloisteho:

$$Q = \sqrt{Q_a^2 + D^2} \quad (7)$$

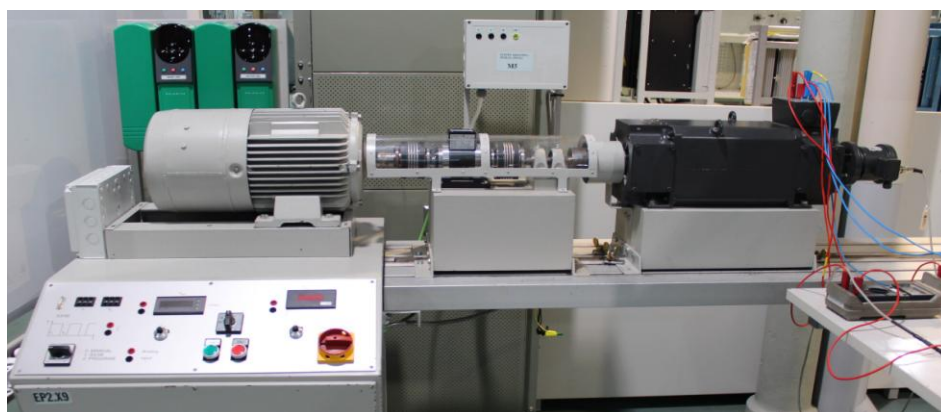
Loistehon merkitys näkyy suoraan myös vaihevirrassa, jonka tehollisarvolle saadaan yhtälö:

Päädtyttiin tekemään kuusi eri mittausta. Mittaukset sekä moottorin suurilla kierrosnopeuksilla, jolloin loisteho on pieni että mittaukset moottorin pienillä kierros-

nopeuksilla, jolloin loistehon osuus tehosta on suuri. Kummastakin tilanteesta mitattiin verrokkiarvo ilman suodatinta, sekä suodatinkäyttö ilman loistehon kompensointia, että suodatinkäyttö loistehokompensoinnin kanssa.

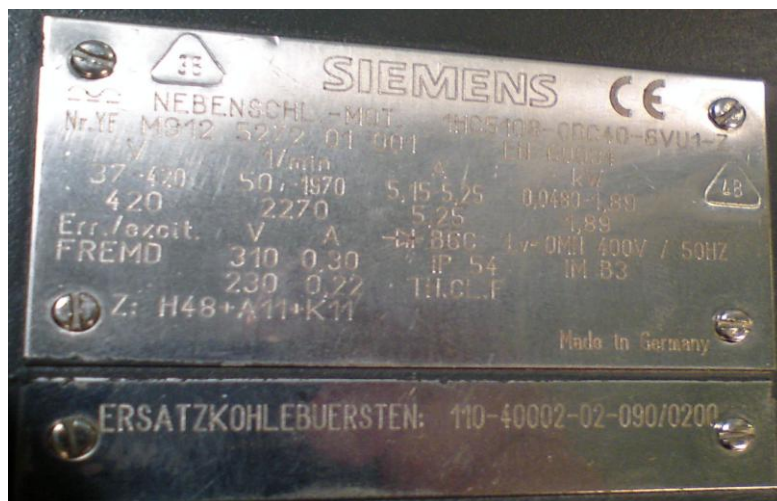
8.1 Kuormitukset

Äärimmäisenä kuormituksena käytettiin Siemensin tasavirtamoottoria. Tasavirtamoottori kytkettiin moottoripenkkiin, jossa sitä pystyttiin kuormittamaan moottorin nimellismomentilla (**Kuvio 68.**).



Kuvio 68. Tasavirtamoottori moottoripenkillä

Tasavirtamoottorin arvokilvestä on nähtävissä moottorin arvoja (**Kuvio 69.**).



Kuvio 69. Tasavirtamoottorin arvokilpi

Tasavirtamoottorin magnetointivirran, sekä ankkurivirran kilpiarvoissa pysymistä, seurattiin mittauksen aikana yleismittareilla. Moottorin syöttämiseen käytettiin Siemens Simoreg 6RA2418-6DV62-0-tyristoriohjattua kuusipulssitasasuuntaajaa. Tasasuuntaaja oli tasavirtamoottorin ohella yksi mittasuhteiltaan suurimmista mittaustauksissa käytetyistä laitteista (**Kuvio 70.**).



Kuvio 70. Simoreg tyristoriohjattu kuusipulssitasasuuntaaja

Laitteiden mittauskytkentä on suhteellisen yksinkertainen. MCC:n kokoojakiskojen perään kytketään tehomittari, jonka perään kytketään sarjaan sekä kuusipulssisuuntaaja, että tasavirtamoottori.

8.2 Aktiivisuotimen loistehokompensointi ja yliaaltosuodatus

Ensimmäiseksi kierrosnopeudeksi valittiin tasavirtamoottorin kilpiarvoissakin mainittu 1970 kierrosta/minuutti, joka on kyseisen moottorin nimellinen kierrosnopeus. Kuusipulssisuuntaajien tyristoreiden vaihekulma on laskettavissa kaavasta:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{U_{di\alpha}}{2,34 \cdot U_V} \quad (8)$$

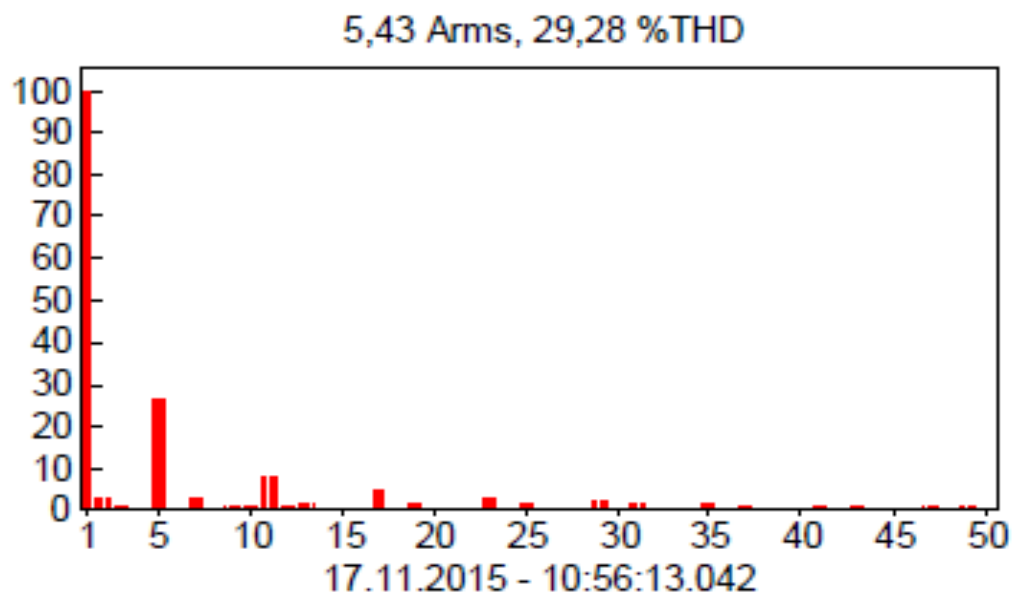
jossa U_V on vaihejännite, eli tässä tapauksessa 230V, sekä $U_{di\alpha}$ on sillan vaiheen tasajännitteen keskiarvo, eli tässä tapauksessa ankkurijännite.

Tällä nopeudella ankkurijännite oli noin 420 voltia, kuusipulssisuuntaajan tyristorien ohjauskulma ja siten myös vaihesiirtokulma on siis noin 39 astetta. Kuorman ottaman loistehon pitäisi jäädä hyvin pieneksi.

Ensiksi ajettiin verrokiajo ilman suodatinta. Otettiin valokuva mittaustuloksista ja yliaaltomittarin raportti (**Kuvio 71.** ja **Kuvio 72.**).

	SYOTTO		
	Ch1	Ch2	Ch3
Vrms	231.86 V	231.15 V	233.45 V
Arms	5.7737 A	5.4949 A	5.3622 A
W	1.0389 KW	929.83 W	967.23 W
Freq	50.001 Hz	50.001 Hz	50.003 Hz
VA	1.3387 KVA	1.2701 KVA	1.2518 KVA
VAr	844.26 VA	865.23 VA	794.64 VA
PF	0.7761	0.7320	0.7727
Fn1			
H2-1			

Kuvio 71. Mittaustulokset, moottorin pyöriessä 1970 rpm ilman suodatinta



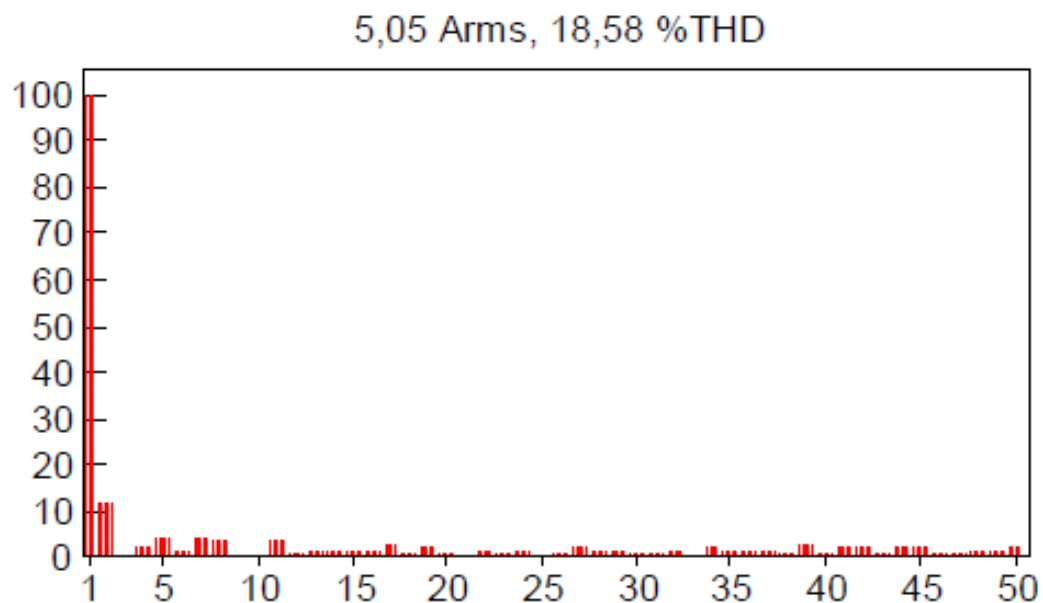
Kuvio 72. Virran spektri moottorin pyöriessä 1970 rpm ilman suodatinta

Seuraavassa testiajossa suodatin kytkettiin päälle, mutta suodattimen loistehon kompensointi jätettiin pois päältä. Kuvattiin mittaustulokset (**Kuvio 73.**).

	Ch1	Ch2	Ch3
Vrms	231.86 V	231.21 V	233.41 V
Arms	5.9849 A	5.4111 A	5.2791 A
W	1.1646 KW	963.62 W	1.0241 KW
Freq	50.008 Hz	50.008 Hz	50.008 Hz
VA	1.3876 KVA	1.2511 KVA	1.2322 KVA
VAR	759.43 VA	797.90 VA	885.29 VA
PF	0.8374	0.7702	0.8311
FH1			
FH2=1			

Kuvio 73. Mittaukset, 1970 rpm, suodatin päällä ilman loistehokompensointia

Tulostettiin myös yliaaltomittarin raportti (**Kuvio 74.**) kyseisestä tilanteesta.



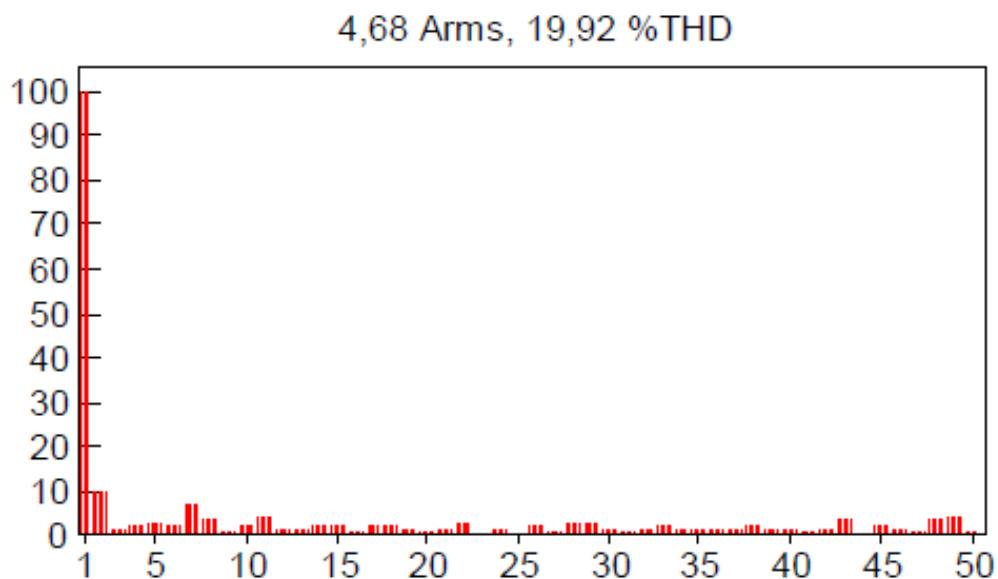
Kuvio 74. Virran spektri 1970 rpm, suodatus ilman loistehokompensointia

Seuraavaksi kytkettiin suodattimesta päälle myös loistehon kompensointi ja otettiin ylös mittaustulokset valokuvana ja raporttina (**Kuvio 75.** ja **Kuvio 76.**).

	Ch1	Ch2	Ch3
Vrms	231.40 V	230.68 V	232.90 V
Arms	5.1809 A	4.7959 A	5.0249 A
W	1.0877 KW	996.47 W	1.0403 KW
Freq	50.002 Hz	50.002 Hz	50.002 Hz
VA	1.1989 KVA	1.1063 KVA	1.1703 KVA
VAr	504.11 VA	480.64 VA	536.16 VA
PF	0.9073	0.9007	0.8889
Fn1			
H2-1			

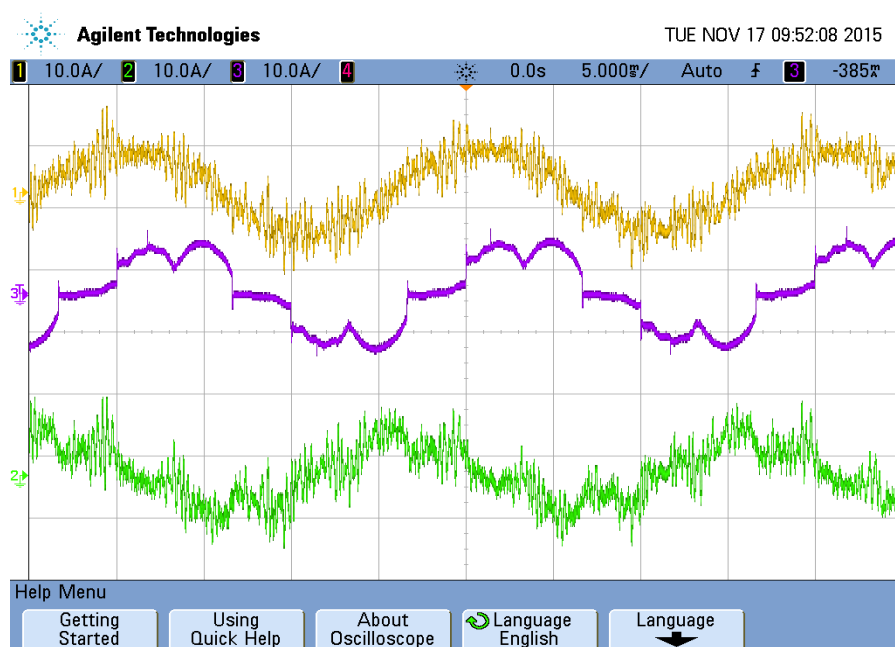
3 MAR 2003 17:45

Kuvio 75. Mittaukset, 1970 rpm, suodatin ja sen loistehokompensointi päällä



Kuvio 76. Virran spektri, 1970 rpm, suodatin ja loistehokompensointi päällä

Suodattimen ollessa käytössä loistehokompensoinnin kanssa, kuormitustilanteesta sai myös havainnollisen oskilloskooppikuvan. Kuvassa verkkovirtaa merkattiin taas keltaisella, tasasuuntaajan ottamaa virtaa violetilla, sekä aktiivisuodattimen kompensointivirtaa vihreällä (**Kuvio 77.**).



Kuvio 77. Tasasuuntaajan ottama virta loisvirran ja yliaallon suodatuksella

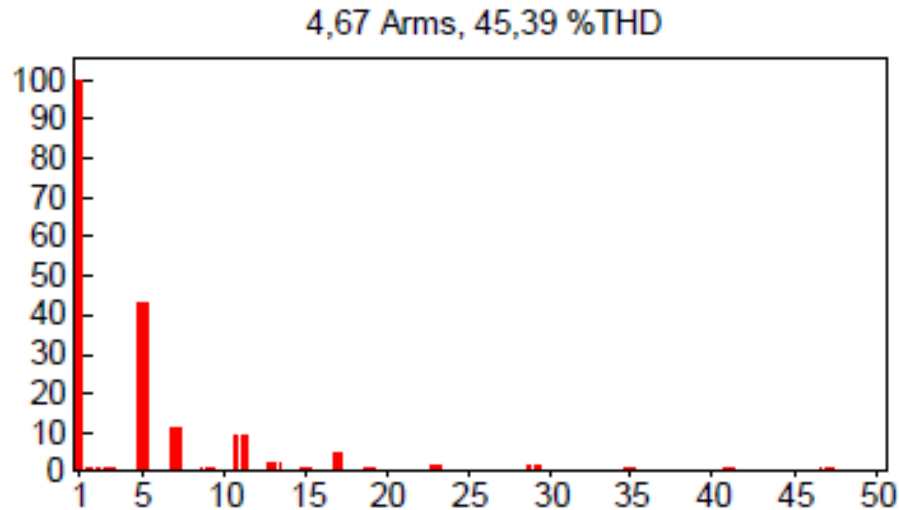
Pienemmällä kierrosluvulla saadaan lähes identtinen kuva.

Toiseksi kierrosnopeukseksi valittiin huomattavan pieni nopeus, jotta tasasuuntaajan tyristorien ohjauskulma ja sitä myötä loistehon osuus mittauksesta saataisiin hyvin suureksi. Päädyttiin arvoon 100 kierrosta minuutissa. Tällä pyörimisnopeudella mitattu ankkurijännite on 49,9 voltia, ohjauskulma ja siten myös vaihesiirtokulma on noin 85 astetta. Kyseessä on kenties jopa liioitellun pieni kierrosnopeus, koska moottorin käynnistä päätellen moottorilla oli pientä ongelmaa pyöriä niin hiljaisella nopeudella. Mittauksesta kuitenkin saatiin selviä mittaustuloksia. Ensimmäisenä taas otettiin mittaustulokset verrokkitilanteesta, jossa tasasuuntaajalle menevää tehoa ei suodatettu aktiivisuodattimella (**Kuvio 79.**).

	SYOTTO		
	Ch1	Ch2	Ch3
Vrms	232.71 V	231.95 V	234.10 V
Arms	5.2374 A	5.3252 A	4.8331 A
W	306.10 W	185.09 W	200.38 W
Freq	50.021 Hz	50.021 Hz	50.021 Hz
VA	1.2188 KVA	1.2352 KVA	1.1314 KVA
VAR	1.1797 KVA	1.2212 KVA	1.1136 KVA
PF	0.2512	0.1499	0.1771
F _{n1}			
H2-1			

Kuvio 78. Mittaustulokset ilman suodatinta moottorin pyöriessä 100 rpm

Tilanteesta tulostettiin myös yliaaltopitoisuuden raportti (**Kuvio 80.**).



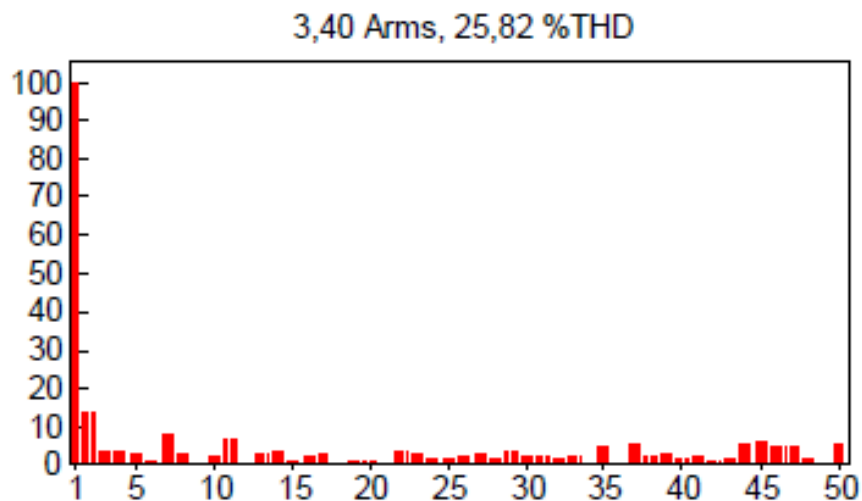
Kuvio 79. Virran spektri moottorin pyöriessä 100 rpm ilman suodatinta

Edellisen ajon tavoin, kun mittaustulokset saatiin ylös, MaxSine-aktiivisuodatin kytkettiin päälle, mutta loistehonkompensointia ei vielä kytketty. Myös kyseisestä tilanteesta kirjattiin mittaustulokset ja otettiin raportti yliaaltopitoisuudesta (**Kuvio 81.** ja **Kuvio 82.**).

	Ch1	Ch2	Ch3
Vrms	232.84 V	232.14 V	234.61 V
Arms	4.7656 A	4.7647 A	4.1145 A
W	446.50 W	244.74 W	278.51 W
Freq	50.027 Hz	50.027 Hz	50.027 Hz
VA	1.1096 KVA	1.1061 KVA	965.29 VA
VAR	1.0158 KVA	1.0787 KVA	924.24 VA
PF	0.4024	0.2213	0.2585
Fh1			
H2-1			

3 MAR 2003 19:02

Kuvio 80. Mittaustulokset 100 rpm suodatus ilman loistehonkompensointia



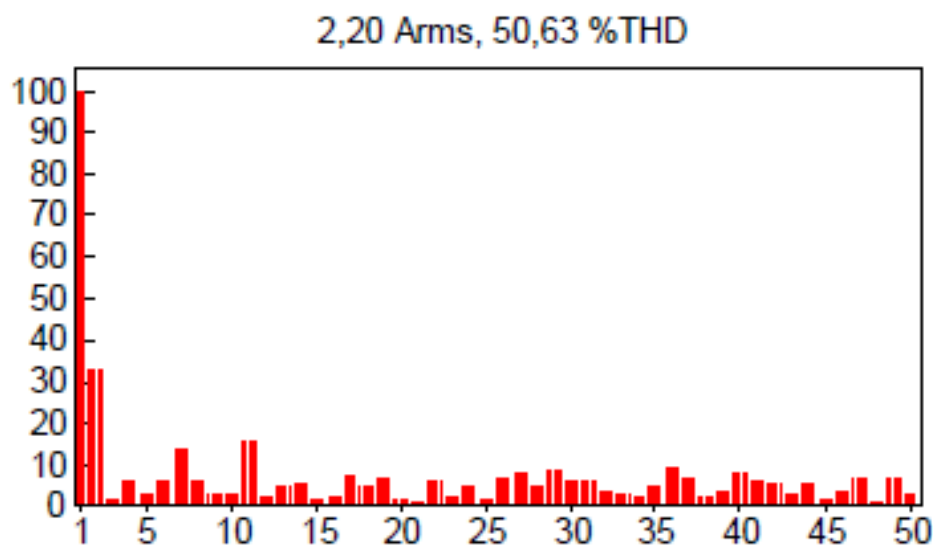
Kuvio 81. Virran spektri, 100 rpm suodatus ilman loistehonkompensointia

Työn seuraavassa vaiheessa kytkettiin suodattimen loistehonkompensointi päälle. Mittaustuloksista pitäisi olla nähtävissä suodattimen vaikutus siihen miten tasasuuntaajan ottama loistehosisältöinen virta näkyy verkkoon. Otettiin taas valokuva mittarin arvoista ja yliaaltomittarin raportti (**Kuvio 83.** ja **Kuvio 84.**).

	Ch1	SVOTTO Ch2	Ch3
Vrms	232.90 V	231.99 V	234.37 V
Arms	2.7594 A	2.5050 A	2.7660 A
W	359.40 W	276.71 W	310.05 W
Freq	50.038 Hz	50.038 Hz	50.038 Hz
VA	642.64 VA	581.14 VA	648.27 VA
VAr	532.74 VA	511.03 VA	569.31 VA
PF	0.5593	0.4762	0.4783
Fn1			
H2-1			

3 MAR 2003 17:54

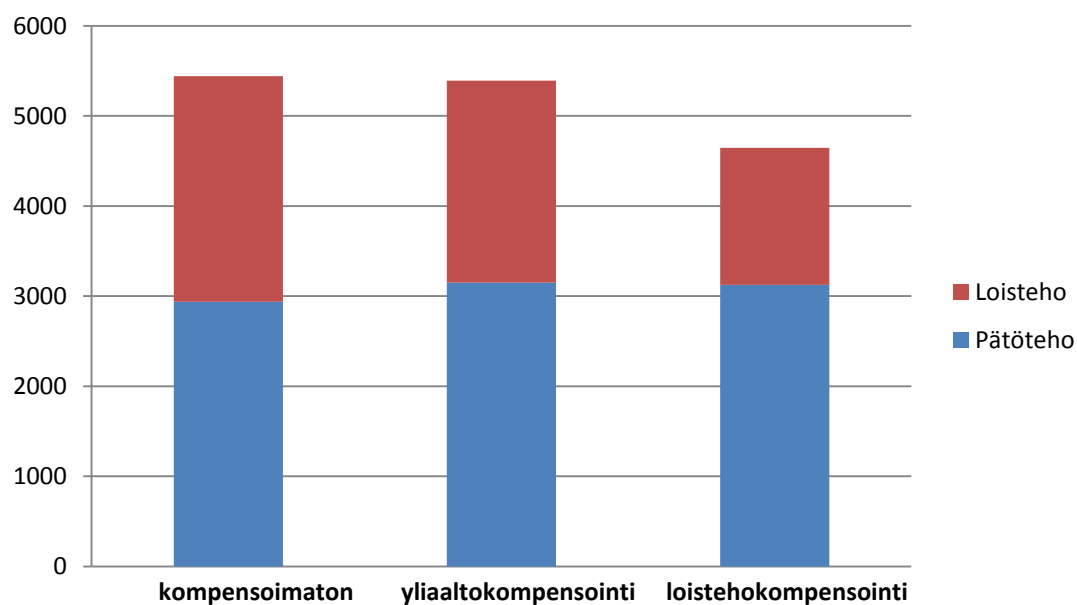
Kuvio 82. Mittaustulokset aktiivisuodatukselta moottorin pyöriessä 100 rpm



Kuvio 83. Virran spektri aktiivisuodatukselta moottorin pyöriessä 100 rpm

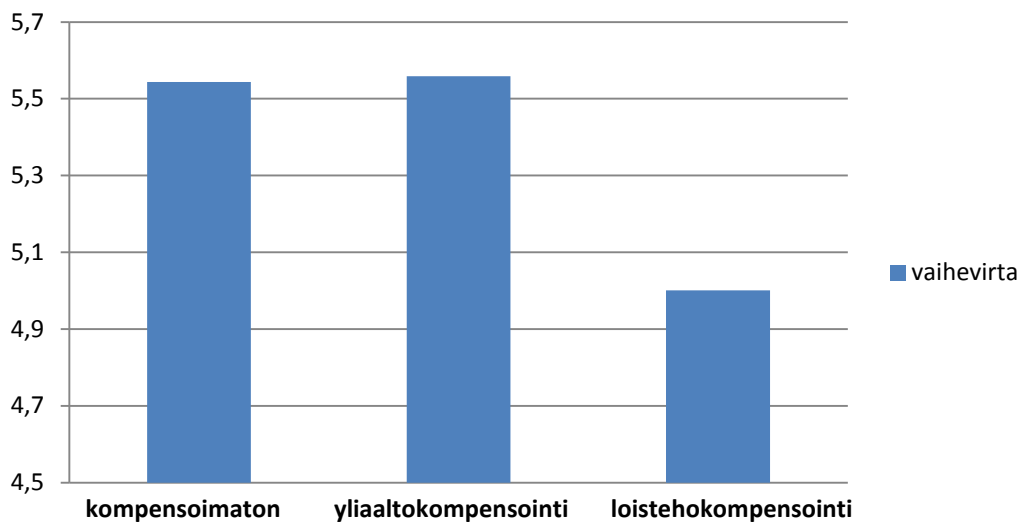
8.3 Yhteenveto mittauksista

Aktiivisuodatin vaikuttaa selvän positiivisesti tyristoriohjatun kuusipulssitasasuuntaajan ottamaan tehoon. Loistehon osuus vähenee selvästi jo ilman loistehon kompensointia ja enemmän loistehon kompensoinnin ollessa päällä. Osuuden väheneminen on selvästi nähtävissä kaaviosta (**Kuvio 84.**).



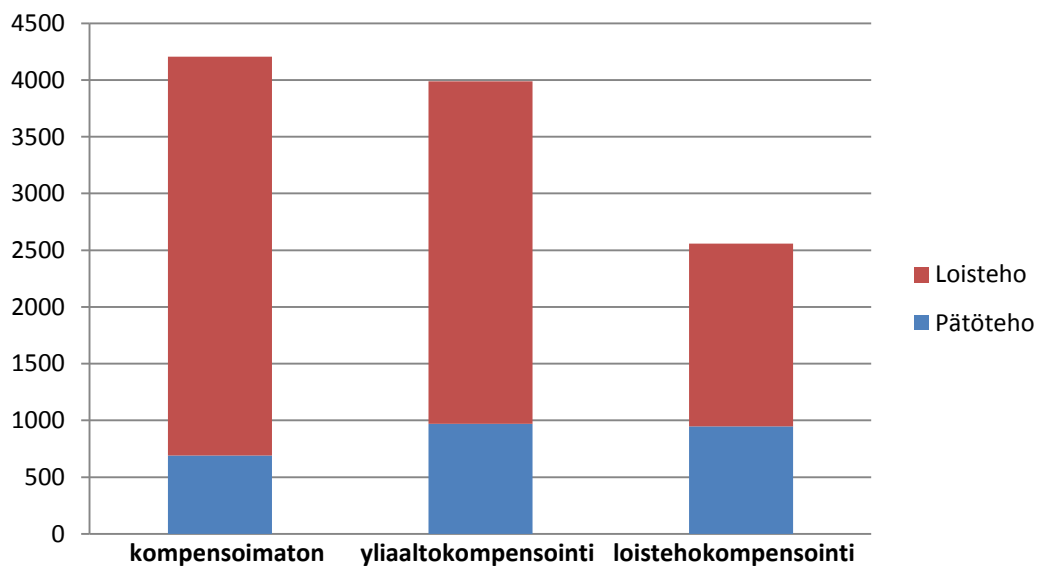
Kuvio 84. Tehoarvot 1970 rpm pyörivän moottorin syötöstä

Tilanteessa, jossa moottori pyörii 1970 rpm, vaihevirtojen keskiarvo pysyy suhteellisen samansuuruisena (**Kuvio 85.**).



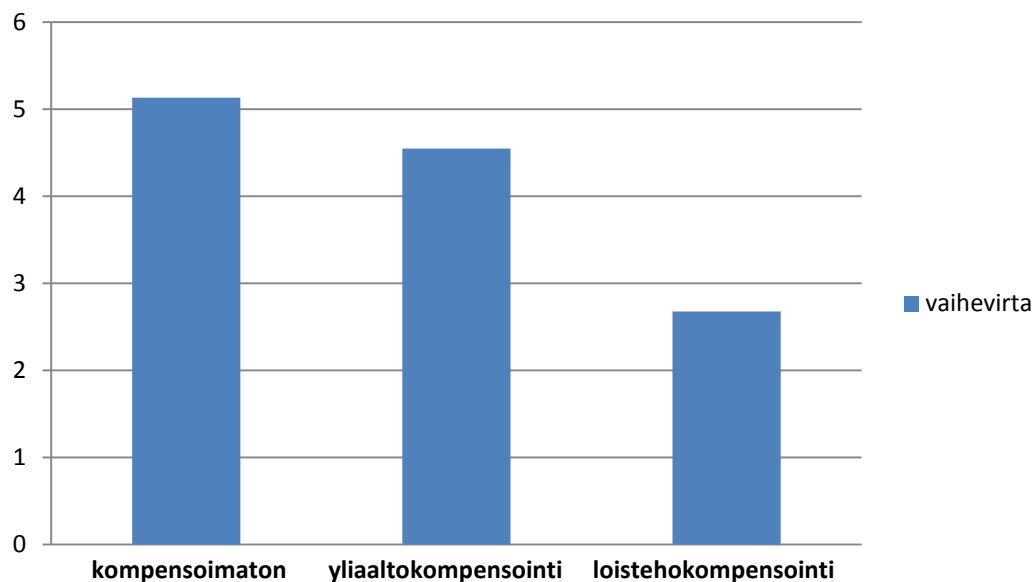
Kuvio 85. Vaihevirtojen keskiarvo tasavirtamoottorin pyöriessä 1970 rpm

Loistehon osuuden väheneminen on moottorin nimellisyörimisnopeuksien mittauksia selvempää, kun moottorin pyörimisnopeudeksi on valittu 100 rpm (**Kuvio 86.**).



Kuvio 86. Tehoarvot 100 rpm pyörivän moottorin syötöstä

Moottorin pyöriessä tasasuuntaajakäytössä 100 kierrosta minuutissa, vaihevirtojen keskiarvossa on nähtävä selvä muutos kompensoinnin myötä (**Kuvio 87.**).



Kuvio 87. Vaihevirtojen keskiarvo tasavirtamoottorin pyöriessä 100 rpm

Mittauksissa oli havaittavissa myös se, että loistehokompensoinnin myötä yliaaltopitoisuutta indikoiva THD kasvaa.

Yliaaltopitoisuuden ei pitäisikään pienentyä loistehonkompensoinnilla, sillä loistehokompensoinnilla syötetään vain perustaaajuista loisvirtaa yliaaltojen lisäksi. Kun näin verkkovirran perusaalto pienenee, sen yliaaltopitoisuus todennäköisesti hieman jopa nousee.

Loisteho muodostuu kahdesta komponentista: ohjausloistehosta $Q_{\alpha} = U_d I_{\alpha}$ sin (alfa), joka on perustaaajuista loistehoa (tätä kompensoi loistehokompensoinnilla). Lisäksi ns. säröteho $D = 3 U_v I_z$, jossa I_z on yliaaltovirtojen tehollisarvo. Tämä kompensoituu yliaaltokompensoinnilla. Kokonaisloisteho $Q = \sqrt{Q_{\alpha}^2 + D^2}$.

9 TOIMINNAN TESTAUS MOOTTORIN KÄYNNISTYKSESSÄ

Viimeisenä mittauksena kokeiltiin suodattimen kykyä moottorinkäynnistyksen aiheuttaman jännitteenaleneman kompensointiin. Jännitteenaleneman kompensointi perustuu aktiivisuodattimen kykyyn syöttää kuormalle loisvirtaa, jolloin sitä ei tarvitse syöttää esimerkiksi muuntajan läpi.

Muuntajan jännitteenalenema saadaan yhtälöstä:

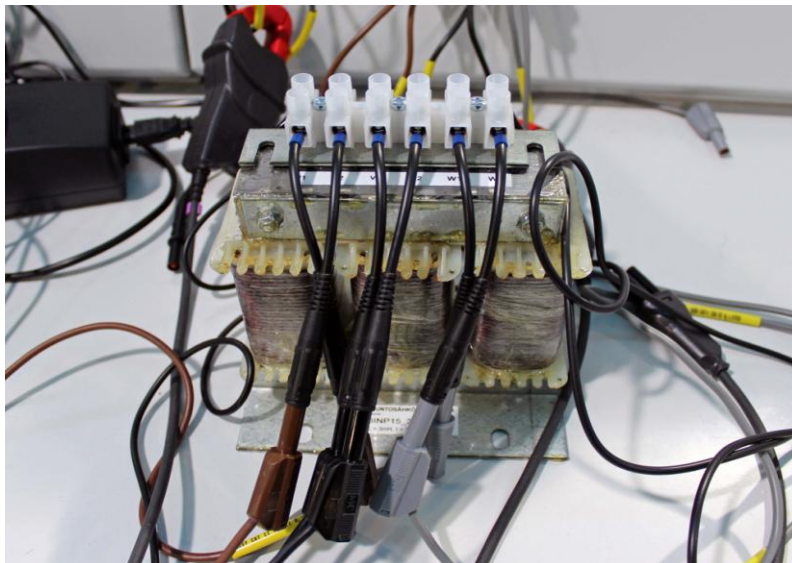
$$\Delta U = R_k * I * \cos \varphi + X_n * I * \sin \varphi = R_n * I_p + X_n * I_q \quad (9)$$

Matemaattisesti jännitteenalenema lasketaan siis kaavalla $\Delta U = R I_p + X I_q$, jossa termi X on reaktanssi ja I_q loisvirta, näinollen $X I_q$ on käytännössä ottaen suoraan loisteho. Loistehon kompensointi siis näinollen myös matemaattisesti pienentää jännitteenalenemaa. Esimerkiksi muuntajalla reaktanssi on erittäin paljon suurempi kuin resistanssi, jolloin loisvirran ja loistehon kompensoinnilla on erittäin suuri merkitys jännitteenalenemaan

9.1 Kuormitukset

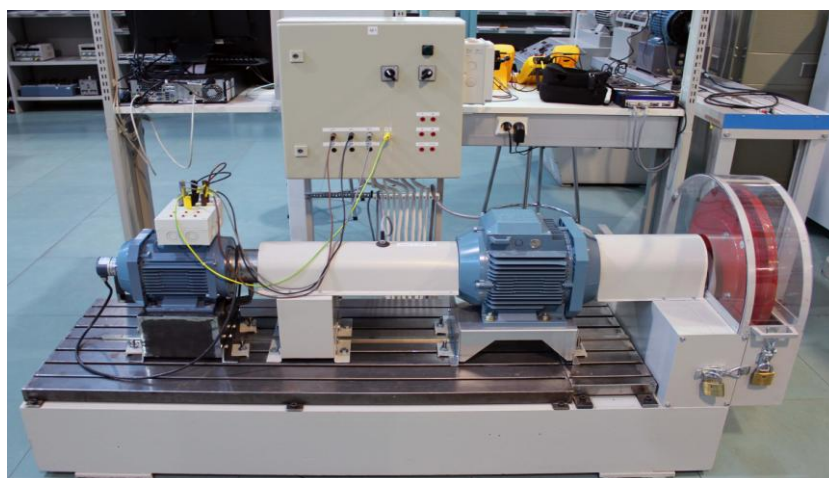
Moottorinkäynnistyksen aiheuttama jännitteenalenema korostuu, jos moottorin edessä on muuntaja. Saman vaikutuksen saa aikaan myös kuristimella. Tässä mittauksessa käytettiin kuristinta. Kuristimena toimi kolmivaiheinen sarjakuristin, joka on tarkoitettu 400 voltin verkkoon. Kuristimen induktanssi on 3 millihenryä per vaihe, virtaraja on 15 ampeeria ja resistanssi on noin 0,06 ohmia per käämi. Tästä voi laskea 50 Hz reaktanssin, joka on 0,94 ohmia, eli 15,7 kertaa resistanssi, eli loisvirralla 15,7 kertainen vaikutus jännitteen alenemaan pätövirtaan verrattuna.

Näissä testeissä käytettiin sarjakuristinta (**Kuvio 88.**).



Kuvio 88. Testauksessa käytetty sarjakuristin

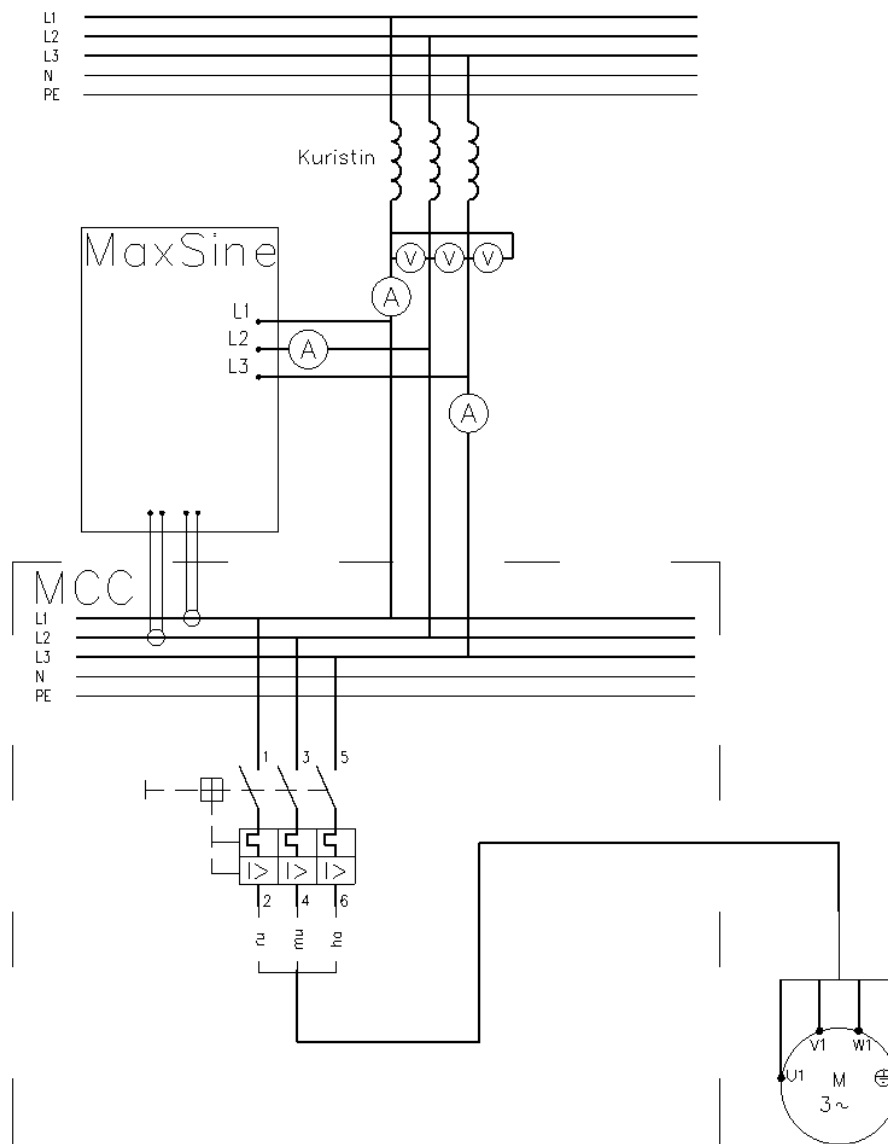
Moottoripenkiksi valittiin ns. ”huimamassakone”, johon oli kytketty ensimmäisen mittauksen kaltainen 2,2 kilowatin MT100LA28-oikosulkumoottori. ”Huimamassakone” on laite, jonka tarkoitus on aiheuttaa moottorille suuri käynnistysajan aikainen hitausmomentti. Hitausmomenttia lisätään kytkemällä moottorin akselin päähän raskaita lisäkierokkeja. Suurimmillaan lisäkierokkeilla saadaan koneen hitausmomentiksi $J_2 = 0,125 + 0,293 + 2 \times 0,589 \text{ kgm}^2 = 1,596 \text{ kgm}^2$. Suuri hitausmomentti aiheuttaa moottorille pitkän käynnistysajan (**Kuvio 89.**).



Kuvio 89. Huimamassakone kaikilla lisäkierokkeilla varustettuna

9.2 Kuorman kytkentä

Kuristin kytkettiin ennen mittareita, jokaisesta vaiheesta otettiin pääjännitteet ja virrat. Kaikki mitattiin samalla Chauvin Arnouxin mittarilla. Jännitteistä ja virroista saatiin näin laskettua myös tehokäyrät. Huimamassakone kytkettiin suoraan mottorinohjauskeskuksen moottorinkäynnistimen taakse (**Kuvio 90.**).

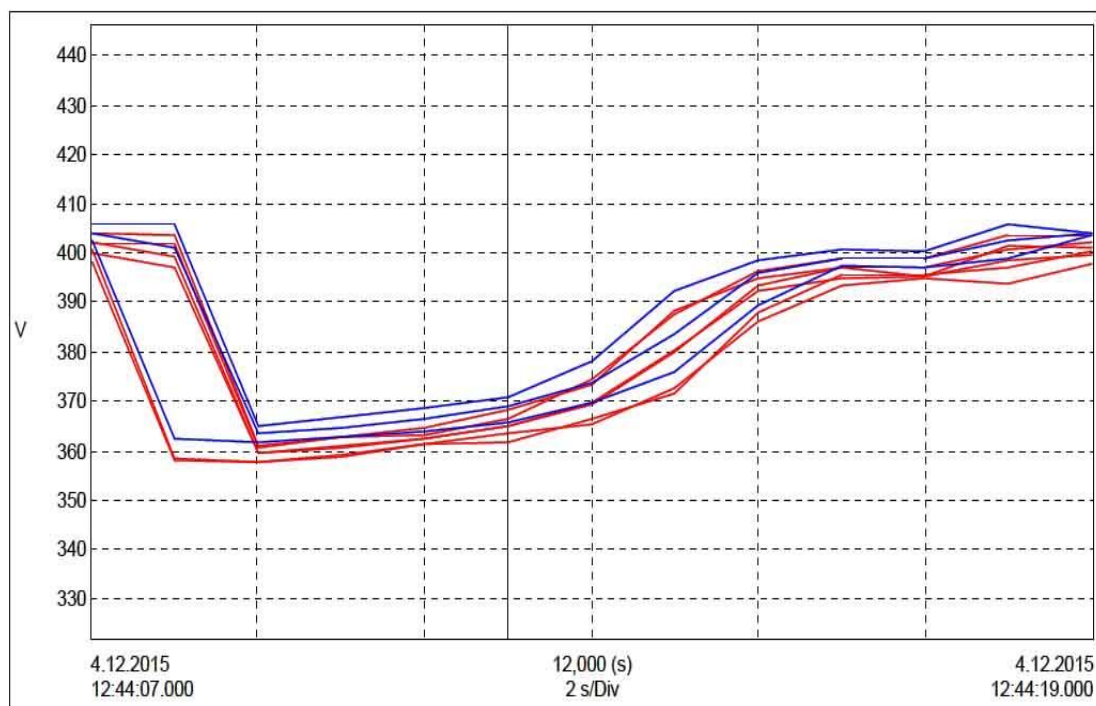


Kuvio 90. Viitteellinen liitântäkuva mittaustilanteesta

9.3 Loistehon kompensoinnin vaikutus jännitteenalenemaan

Ensiksi suoritettiin moottorinkäynnistyksiä ilman suodatinta verrokkitulosten saamiseksi. Käynnistystilanteesta otettiin ylös raportti pääjännitteistä (**Kuvio 91.**), virtakäyristä (**Kuvio 92.**), sekä loistehokäyrät (**Kuvio 93.**).

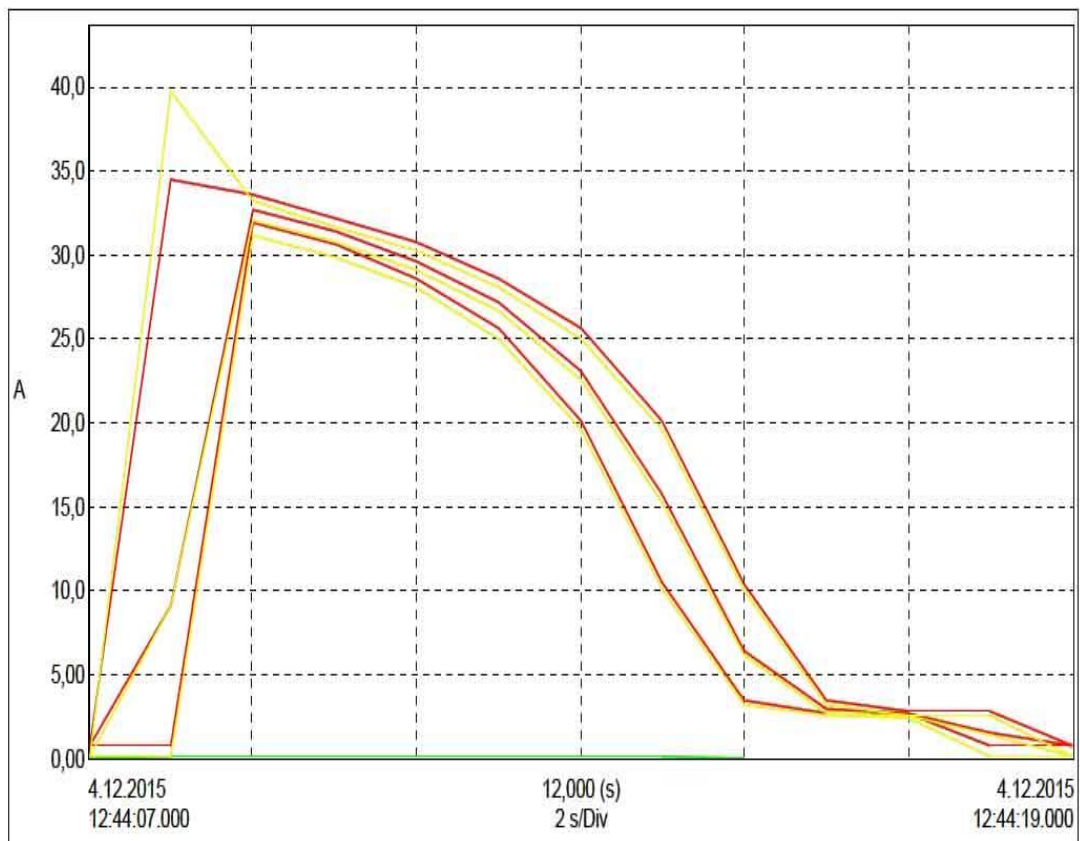
Name	Date	Time	AVG	MIN	MAX	Units	Duration	Units
U12 rms	4.12.2015	12:44:07.000	383,062	357,700	401,700	V	13,000	(s)
U23 rms	4.12.2015	12:44:07.000	384,150	357,700	403,900	V	13,000	(s)
U31 rms	4.12.2015	12:44:07.000	386,992	361,600	405,800	V	13,000	(s)



U12 rms (V)					
Date	Time	Val	MIN	MAX	Units
4.12.2015	12:44:07.000	399,90	398,30	401,70	V
4.12.2015	12:44:08.000	397,20	358,10	401,70	V
4.12.2015	12:44:09.000	359,40	357,70	360,60	V
4.12.2015	12:44:10.000	360,70	358,80	362,70	V
4.12.2015	12:44:11.000	362,30	361,30	364,70	V
4.12.2015	12:44:12.000	365,00	363,40	368,30	V
4.12.2015	12:44:13.000	369,80	365,40	373,40	V
4.12.2015	12:44:14.000	380,20	372,80	388,30	V
4.12.2015	12:44:15.000	392,40	386,20	394,80	V
4.12.2015	12:44:16.000	395,10	393,50	397,00	V
4.12.2015	12:44:17.000	395,20	395,00	395,30	V
4.12.2015	12:44:18.000	398,50	393,70	401,50	V
4.12.2015	12:44:19.000	399,70	398,00	401,30	V

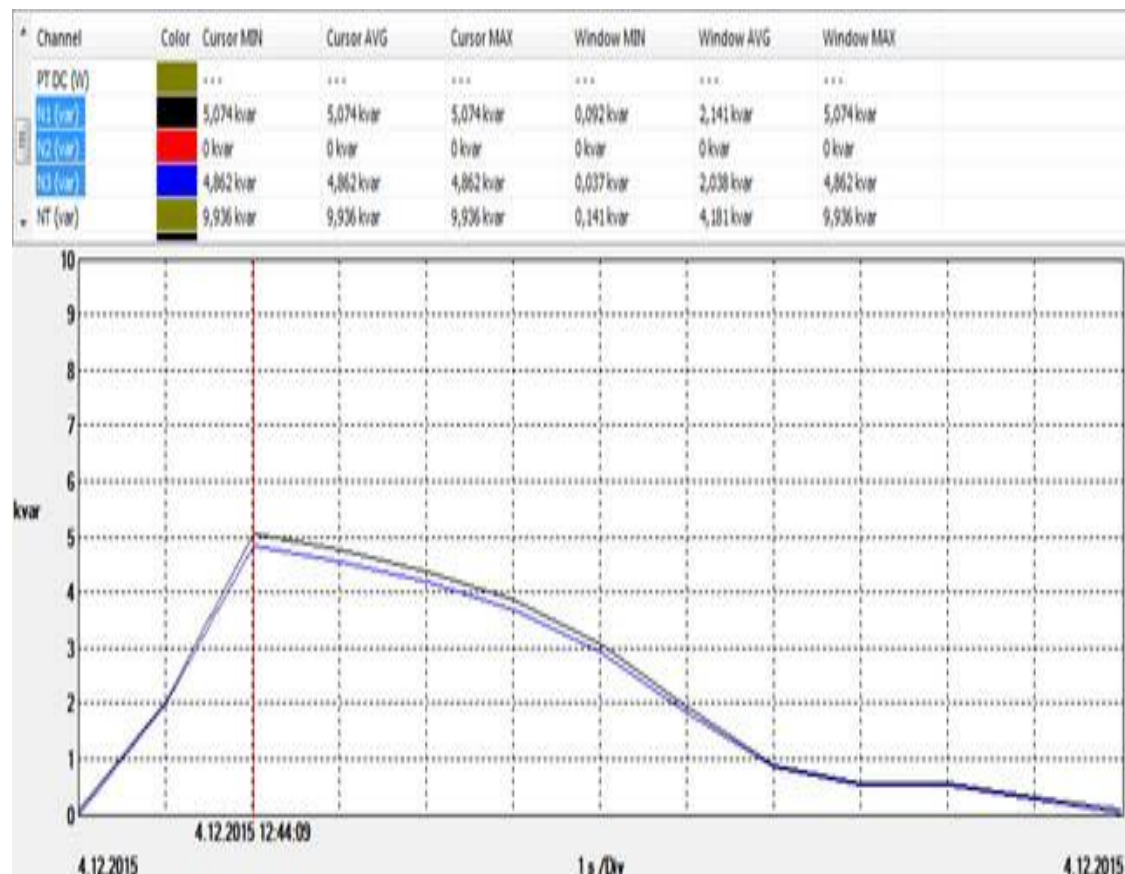
Kuvio 91. Raportti moottorinkäynnistyksen aikaisista pääjännitteenalenemisistä

Name	Date	Time	AVG	MIN	MAX	Units	Duration	Units
A1 rms	4.12.2015	12:44:07.000	18,805	0,770	34,480	A	13,000	(s)
A2 rms	4.12.2015	12:44:07.000	0,000	0,000	0,070	A	13,000	(s)
A3 rms	4.12.2015	12:44:07.000	18,424	0,140	39,740	A	13,000	(s)



A1 rms (A)					
Date	Time	Val	MIN	MAX	Units
4.12.2015	12:44:07.000	0,800	0,770	0,810	A
4.12.2015	12:44:08.000	9,0600	0,770	34,480	A
4.12.2015	12:44:09.000	32,640	31,900	33,540	A
4.12.2015	12:44:10.000	31,370	30,580	32,140	A
4.12.2015	12:44:11.000	29,670	28,610	30,750	A
4.12.2015	12:44:12.000	27,220	25,590	28,630	A
4.12.2015	12:44:13.000	23,130	20,150	25,590	A
4.12.2015	12:44:14.000	15,750	10,470	20,070	A
4.12.2015	12:44:15.000	6,4500	3,5000	10,420	A
4.12.2015	12:44:16.000	2,9500	2,7200	3,4700	A
4.12.2015	12:44:17.000	2,7200	2,6600	2,7800	A
4.12.2015	12:44:18.000	1,5900	0,770	2,7600	A
4.12.2015	12:44:19.000	0,800	0,770	0,800	A

Kuvio 92. Raportti moottorinkäynnistyksen aikaisista virtakäyristä

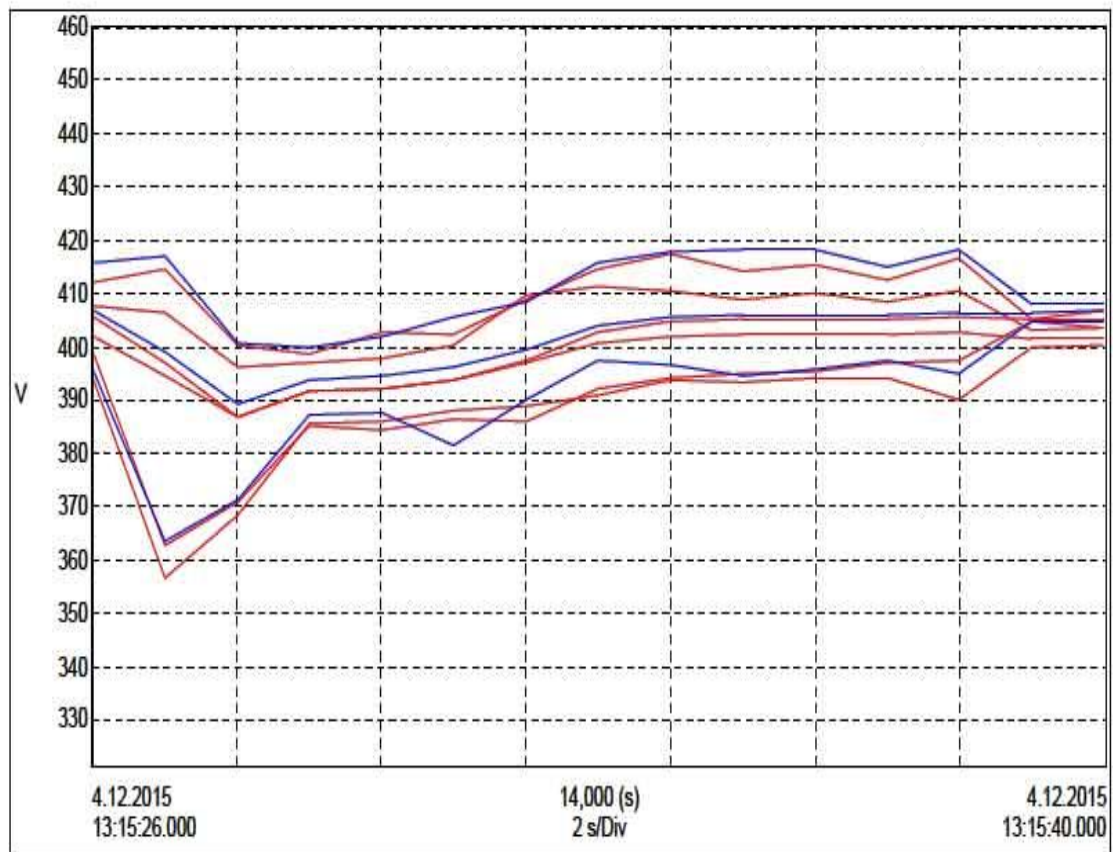


Kuvio 93. Moottorinkäynnistyksen aikaiset loistehokäyrät

Moottorinkäynnistyksessä ilman suodatinta saatavissa tiedoissa on nähtävissä moottorinkäynnistykseksi tyypillinen korkea virtapiikki ja pitkä-aikainen jännitteenalenema. Pääjännite putosi noin 360:neen volttiin ja pysyi alhaisena koko käynnistyksen ajan, joka kesti noin 7 sekuntia. Käynnistysvirta on hyvin loisvirta-pitoista, joten verkosta otetaan myös suuri loisteho.

Seuraavaksi kytkettiin päälle suodatin ja ajoitettiin moottorinkäynnistys hetkeen, jolloin suodatin ei kärsinyt virhetoiminnoista. Otettiin taas raportit käynnistyksen- aikaisista pääjännitteistä (**Kuvio 94.**), virroista (**Kuvio 95.**), sekä kuva käynnistyksenaikaisista loisvirroista (**Kuvio 96.**).

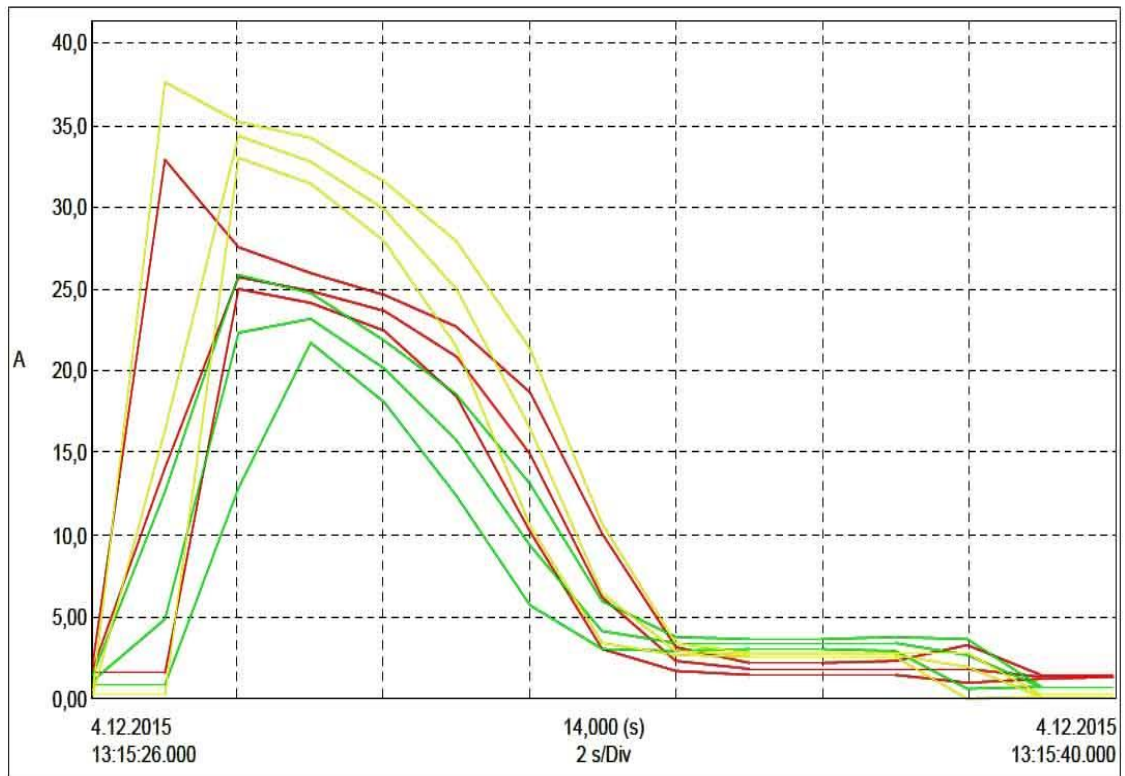
Name	Date	Time	AVG	MIN	MAX	Units	Duration	Units
U12 rms	4.12.2015	13:15:26.000	398,211	356,800	411,400	V	15,000	(s)
U23 rms	4.12.2015	13:15:26.000	400,282	362,700	417,400	V	15,000	(s)
U31 rms	4.12.2015	13:15:26.000	401,733	363,600	418,400	V	15,000	(s)



U12 rms (V)					
Date	Time	Val	MIN	MAX	Units
4.12.2015	13:15:26.000	402,00	393,70	407,80	V
4.12.2015	13:15:27.000	394,50	356,80	406,30	V
4.12.2015	13:15:28.000	386,70	368,30	396,10	V
4.12.2015	13:15:29.000	391,70	385,40	396,90	V
4.12.2015	13:15:30.000	392,30	386,00	397,70	V
4.12.2015	13:15:31.000	393,70	388,20	400,10	V
4.12.2015	13:15:32.000	396,90	388,80	409,70	V
4.12.2015	13:15:33.000	400,60	390,90	411,40	V
4.12.2015	13:15:34.000	402,00	393,80	410,40	V
4.12.2015	13:15:35.000	402,20	393,30	408,70	V
4.12.2015	13:15:36.000	402,20	394,00	410,00	V
4.12.2015	13:15:37.000	402,20	394,30	408,30	V
4.12.2015	13:15:38.000	402,60	390,10	410,40	V
4.12.2015	13:15:39.000	401,50	399,70	403,20	V

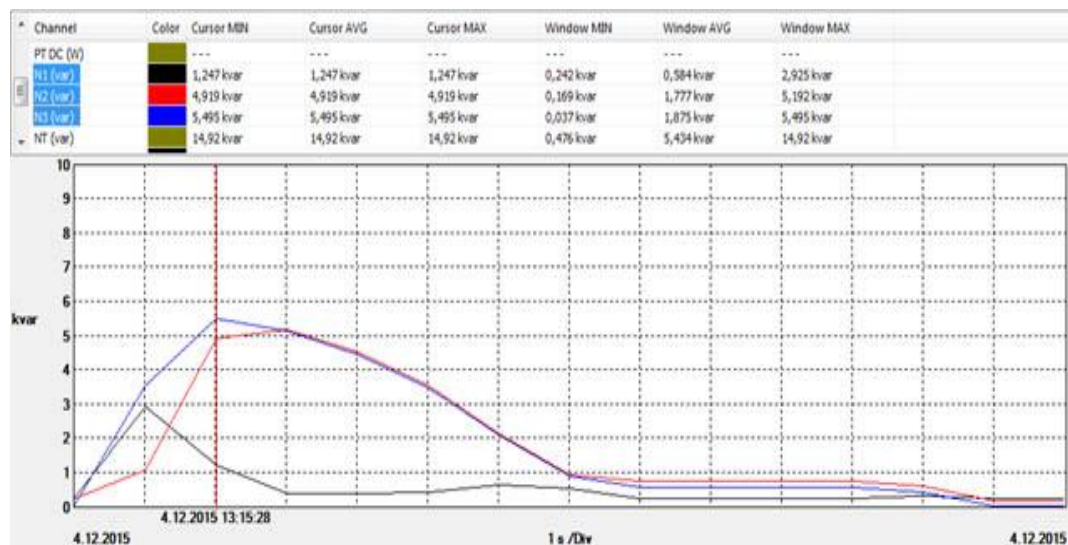
Kuvio 94. Raportti moottorinkäynnistyksen aikaisista pääjännitteistä

Name	Date	Time	AVG	MIN	MAX	Units	Duration	Units
A1 rms	4.12.2015	13:15:26.000	13,568	0,990	32,940	A	15,000	(s)
A2 rms	4.12.2015	13:15:26.000	11,177	0,610	25,880	A	15,000	(s)
A3 rms	4.12.2015	13:15:26.000	17,100	0,000	37,630	A	15,000	(s)



A1 rms (A)					
Date	Time	Val	MIN	MAX	Units
4.12.2015	13:15:26.000	1,7900	1,5800	2,1600	A
4.12.2015	13:15:27.000	14,050	1,5400	32,940	A
4.12.2015	13:15:28.000	25,740	25,040	27,610	A
4.12.2015	13:15:29.000	24,910	24,110	25,940	A
4.12.2015	13:15:30.000	23,610	22,480	24,680	A
4.12.2015	13:15:31.000	20,920	18,430	22,710	A
4.12.2015	13:15:32.000	14,880	10,220	18,640	A
4.12.2015	13:15:33.000	6,2000	3,0800	10,120	A
4.12.2015	13:15:34.000	2,3100	1,7200	3,1400	A
4.12.2015	13:15:35.000	1,8800	1,4900	2,2300	A
4.12.2015	13:15:36.000	1,8200	1,4200	2,1900	A
4.12.2015	13:15:37.000	1,8400	1,4400	2,2500	A
4.12.2015	13:15:38.000	1,8400	0,990	3,2200	A
4.12.2015	13:15:39.000	1,3700	1,2300	1,4500	A

Kuvio 95. Raportti moottorinkäynnistyksen aikaisista virtatasoista



Kuvio 96. Loistehokäyrät moottorinkäynnistyksen aikana

9.4 Yhteenveto mittauksista

Aktiivisuodattimella oli selvä vaikutus moottorinkäynnistyksen jännitteenalene-
maan. Vaikka aktiivisuodatin kärsi selvästi mittauskytkennästä, jokaisessa suorite-
tussa mittauksessa aktiivisuodattimen energiavarannolla oli ainakin jonkinlainen
vaikutus jännitteenaleneeseen. Suodattimen ollessa päällä, loistehokäyrissä näkyy
selvästi suodattimen syöttämä loisteho, joka laskee jännitteenaleneeseen. Myös vir-
takäyrissä on nähtävissä suodattimelta tuleva loisvirta. Jokaisessa mittauksessa
kyllä ilmeni jonkinasteista jännitteenaleneeseen. Pääjännite käy hetkellisesti yhtä
matalana riippumatta suodattimesta. Eroavaisuus tulee esiin heti, kun suodatinta eh-
tii reagoida jännitteenaleneeseen. Ilman suodatinta jännitteenaleneeseen kesti pa-
himmillaan noin 10 sekuntia, kun taas suodatinta päälle kytkettynä, jännite tippui
hetkellisesti noin sekunnin ajan, mutta korjaantui heti kun suodatinta ehtii syöttää
moottorin tarvitsemaa loisvirtaa.

10 SUODATTIMEN KÄYTTÖ OPETUSKÄYTÖSSÄ

MaxSine-aktiivisuodatin on osoittautunut ajetuissa testeissä varsin käyttökelpoiseksi yliaaltotaajuuksien suodattamisen demonstroinnissa. Aktiivisuodatinta olisi hyvä demonstroida taajuusmuuttajakäyttöohjatun moottorin edellä. Testeissä osoittautui, että jo yhden taajuusmuuttajaohjatun moottorikäytön suodattamisesta saa selkeitä tuloksia. Testin aikana moottorin kohtaamaa vastamomenttia voisi muuttaa ääriarvojen välillä vaakakoneesta. Testeissä olisi hyvä käyttää spektrin ja THD:n ilmoittavaa yliaaltomittaria, sekä oskilloskooppia. Sen lisäksi, että testissä tulee tutustuttua aktiivisuodattimen suodatuskykyyn, myös taajuusmuuttajan (tai muun yliaaltolähteen) ottaman virran ominaisuudet ovat asioita joihin koulutuksessa ei muuten kiinnitetä paljoa huomiota.

Myös tyristorikäyttöisen kuusipulssisuuntaajan ohjaaman moottorin ajaminen tuotti mielenkiintoisia testituloksia. Testin varsinainen tarkoitus eli perustaajuisen loisivirran kompensointi onnistui hyvin. Testiajoissa törmättiin virhetilaan, jossa aktiivisuodatin lopetti reagoinnin, kunnes se käynnistettiin uudestaan. On syytä uskoa, että kyseessä on jonkinlainen poikkeus, koska muuten aktiivisuodatin toimii kuitenkin hyvin luotettavasti testin aikana.

Vaikka suoritetuissa testeissä saatiinkin hyviä tuloksia myös moottorinkäynnistyksen synnyttämän jännitteenaleneman kumoamisesta suodattimella, testauksessa tuntuu olevan liikaa ongelmia käytettäväksi oppilaiden laboratoriotöissä. Kytkenän ja erityisesti mittaustulosten asetusten mittauskuntoon saaminen on työlästä. Jatkuvässä laboratoriokäytössä voi tulla turvallisuuden kannalta ongelmalliseksi käyttää, ajettujen testien tavoin, irtonaista sarjakuristinta. Lisäksi aktiivisuodattimen mittaustoiminnot hylkivät mahdollisesti sarjakuristimen käyttöä, tai kuormatonta tilaa, niin että aktiivisuodatin on jatkuvassa vikatilassa ja laadukkaiden mitaustulosten saaminen on suureksi osaksi tuurista kiinni.

11 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Testauksen tulokset ovat rohkaisevia. MaxSine-aktiivisuodatin toimi hyvin jokaisessa testatussa tilanteessa. Oli odotettavissa, että suodatin pystyy suodattamaan taajuusmuuttajakäyttöjen, sekä kuusipulssisuuntaajakäytön ottamia virtoja. Suodatin pystyi toimimaan jopa moottorikäynnistyksen aikaisen jännitteenaleneman kompensoinnissa, vaikka laitetta ei ole selvästikään suunniteltu kyseistä tarkoitusta varten.

Lopputuloksena saadut dokumentit toivottavasti rohkaisevat käyttämään MaxSine-aktiivisuodatinta laboratoriokäytössä. Mitään suurempia vikoja ei havaittu, vaikka suodattimessa havaittiin testauksen aikana muutamia ongelmia epätavallisista kuormitustilanteista johtuen.

LÄHTEET

/1/ Nokia Capacitors Ltd. MaxSine Active Harmonic Filter User's Manual

/2/ Verkkonen, V. 2015. Opintomoniste. Teoreettinen sähkötekniikka 3.

/3/ Chauvin Arnoux Group. 2015. C.A 8336 QUALISTAR+ käyttöohjeet



MaxSine Aktiivisuodatin

» Tuotteen ominaisuudet

- > Erinomainen dynamiikka - vasteaika pienempi kuin 1 ms
- > Kolmivaiheinen yliaaltovirtojen kompensointi jopa 50. harmoniseen asti
- > Kolmannen sekä muiden nollajohtoon summautuvien yliaaltojen kompensointi
- > Loistehon ja yliaaltojen tai ainoastaan yliaaltojen kompensointi
- > Pienet tehohäviöt (<3% laitteen nimellistehosta)
- > Kompensoitaessa sekä loistehoa että yliaaltoja tehokerroin on 1
- > Ei häiritse verkkokäskylaitteita
- > Elektroninen ylikuormitusuoja
- > Voidaan käyttää estokelapariston ja passiivisen suodattimen rinnalla
- > Tuotevalikoima kattaa laajan tehoalueen ja takaa kilpailukykyiset sovellukset

» MaxSine – maximi kompensointi, maximi hyöty

Kustannustehokkuus ja yliaaltoja tuottavien kuormien laatu ja sijainti ratkaisevat käytetäänkö yksittäisen kuorman kompensointia, ryhmäkompensointia tai keskitettyä kompensointia. Kun mittaukset on tehty ja yliaaltojen aiheuttama virta- ja jännitesäro tunnetaan verkon eri kohdissa, voidaan tehdä valinta eri kompensointi-menetelmien välillä. Kustannustehokkuus ja yliaaltoja tuottavien kuormien laatu ja sijainti ratkaisevat käytetäänkö a) yksittäisen kuorman kompensointia, b) ryhmäkompensointia tai c) keskitettyä kompensointia.

» Sovellukset

- > yliaaltojen suodattaminen ja tehokertoimen parantaminen



- » > nopeasti vaihtelevien kuormien tehokertoimen parantaminen

Tyypillisiä kohteita

- > tuulivoimalat
- > hitsaava teollisuus
- > hissi- ja nosturikäytöt
- » > nopeita kuormituksen vaihteluita aiheuttava teollisuus

Asiakkaan edut

- > harmonisten yliaaltojen suodatus
- > tehokertoimen parantaminen
- > välkynnän poistaminen
- > reaaliaikainen suodatus ja kompensointi
- > verkon impedanssi ei vaikuta suodatustulokseen

TEKNISET TIEDOT

MaxSine	Nimellisteho	Vaihevirta	Nollavirta	Paino	Leveys	Syvyys	Korkeus
	400 V	L1, L2, L3	N				
Tyyppi	(kVA)	(A)	(A)	(kg)	(mm)	(mm)	(mm)
> MaxSine 50A-3L	35	50	-	150	600	500	1200
> MaxSine 100A-3L	70	100	-	240	600	500	1900
> MaxSine 400A-3L	280	400	-	900	1200	800	2100
> MaxSine 100A-4Lx1	70	100	100	350	600	500	2100

2. LAITEKuvaus

2.1. TOIMINNOT

CA 8336 (Qualistar+) on 3-vaiheinen verkkoanalysaattori graafisella värinäytöllä ja sisäänrakennetulla akulla.

Laitteella on kolme toimintoa ja sitä voidaan käyttää:

- RMS-arvojen, tehon sekä sähköjakaiverkossa olevien häiriöiden mittaamiseen.
- Näyttökuvan tuottaminen on yksi 3-vaihe verkoston tärkeimpiä ominaisuuksia.
- Erilaisten parametriverailuiden seuranta ajan myötä.

Laitteen mittatarkkuus on parempi kuin 1 % (lukuunottamatta virtapihtien epätarkkuutta). Laaja valikoima erilaisia virtapihtejä tekee laitteesta erittäin monipuolisen ja mahdollistaa mittausten suorittamisen muutamasta mA (MN93A) useampaan kA (AmpFLEX™).

Laite on kompakti ja iskunkestävä.

Laitteen ergonomia ja käyttäjäystävällisyys tekevät laitteesta helppokäyttöisen.

CA 8336 on tarkoitettu sähköasentajille, insinööreille sekä verkostotarkastuksiin ja kunnossapitohenkilökunnan käyttöön.

2.1.1. MITTAUSTOIMINNOT

Laitteen päämittaustyyppejä ovat:

- AC jännitteiden RMS-arvot jopa 1000 V asti terminaalien välillä. Muuntosuhteiden käyttö mahdollistaa satojen gigavolttien suurien jännitteiden mittauksen.
- AC virtojen RMS-arvot jopa 10000 A asti (mukaan lukien nollajohdin). Muuntosuhteiden käyttö mahdollistaa satojen satojen kilomapeerien suurien virtojen mittauksen.
- Jännitteiden ja virtojen DC-komponentit (mukaan lukien nollajohdin).
- Virran ja jännitteen (ilman nollaa) puolijakson RMS-arvon (tai osittain) minimi ja maksimi.
- Jännitteen ja virran huippuarvot (mukaan lukien nollajohdin).
- Taajuus 50 ja 60 Hz:n verkossa.
- Huippukertoimen laskeminen jännitteelle ja virralle (mukaan lukien nollajohdin).
- Harmonisen yliaaltohäviökertoimen (FHL) laskemiseen, sovellus muuntajille harmonisten yliaaltojen ollessa läsnä.
- K-kertainen lasku (KF), sovellus muuntajille harmonisten yliaaltojen ollessa läsnä.
- Harmonisen kokonaissärön mittaaminen ottaen huomioon perustaajuuden (THD %f:ssa) virralle ja jännitteelle (ilman nollaa).
- Harmonisen kokonaissärön laskenta ottaen huomioon RMS:n AC -arvon (THD %r:ssa) virralle ja jännitteelle (ilman nollaa).
- Pätöteho, loisteho (kapasitiivinen ja induktiivinen), loisteho yhteensä, säröteho ja näennäistehtö vaiheittain ja yhteensä (ilman nollaa).
- Tehokertoimet (PF) sekä tehosiirtymäkertoimet (DPF tai $\cos \Phi$), ilman nollajohdinta.
- RMS-säröarvojen (d) mittaaminen virralle ja jännitteille (ilman nollajohdinta).
- Lyhytaikaisvälykynnän (PST) mittaaminen (ilman nollajohdinta).
- Jännitteen pitkäaikaisvälykynnän (PLT) mittaaminen (ilman nollajohdinta).
- Pätöenergia, loistenergia (kapasitiivinen ja induktiivinen), ei-aktiivinen, säröily ja näennäisenergia (ilman nollajohdinta).
- Virta- ja jänniteylläallot (ilman nollajohdinta) 50:nteen yliaaltoon saakka: RMS arvo, prosenttiosuus viitattuna perustaajuuteen (%f) (ilman nollajohdinta), tai RMS -kokonaisarvo (%r), min ja max sekä yliaaltosekvenssit.
- Näennäinen yliaaltotehtö 50:nteen asti (ilman nollajohdinta): Prosenttiosuus verrattuna perustaajuuden näennäistehtöön (%f) tai kokonaisnäennäistehtöön (%r), arvon minimi ja maksimi.
- Käynnistysvirtojen mittaaminen (moottorit).

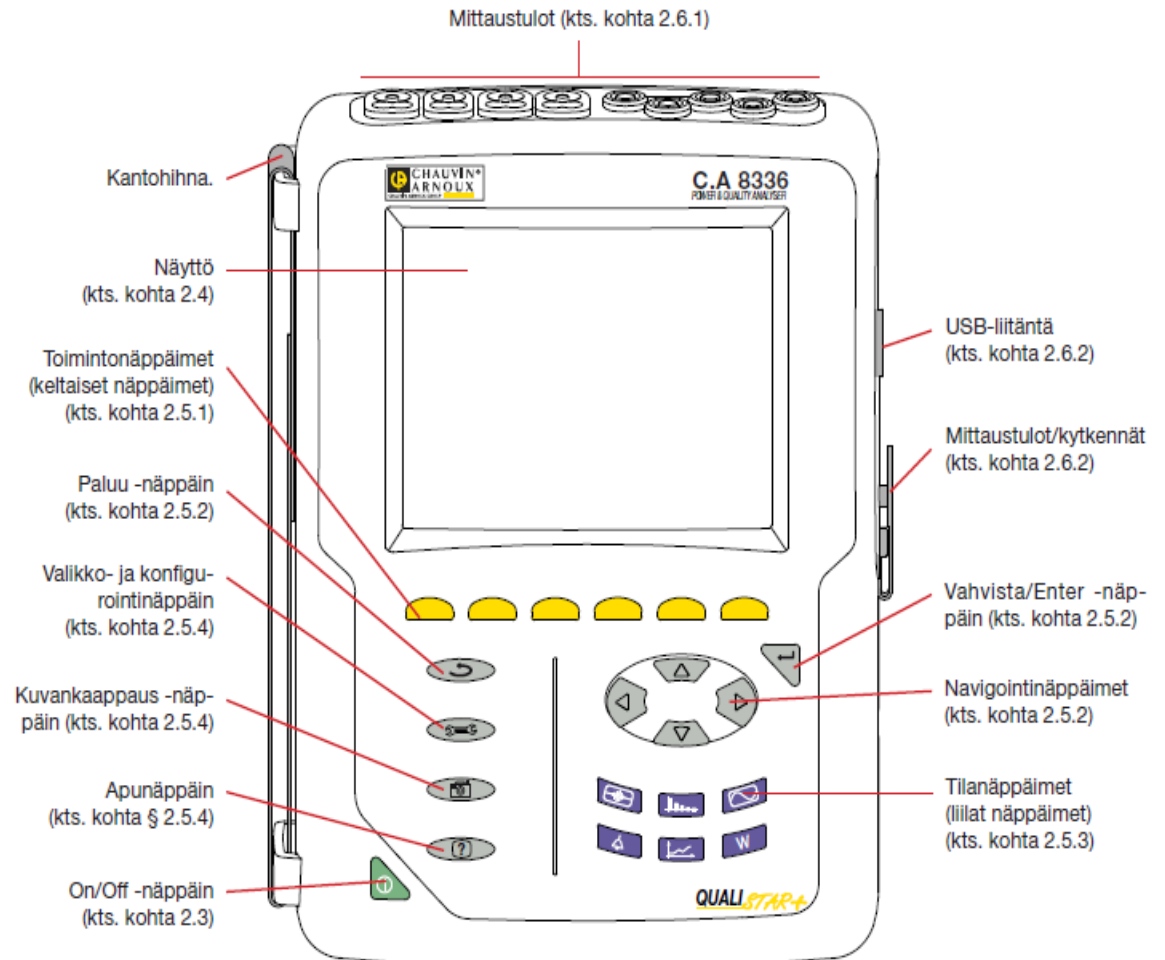
2.1.2. NÄYTTÖTOIMINNOT

- Aaltomuotojen näyttö (jännitteet ja virrat).
- Taajuuden näyttö pylväskaaviomuodossa (jännite ja virta).
- Käynnistysvirta -toiminto: Näyttää moottorin käynnistysvirran tarkastelussa tarvittavat parametrit.
 - Hetkellinen virran- sekä jännitteenarvo kohdistimen kohdalla.
 - Virran ja jännitteen maksimaalinen hetkellinen itseisarvo (koko käynnistyksen ajan).
 - Virran ja jännitteen (ilman nollaa) puolijakson RMS-arvo (tai osittain) kohdistimen kohdalla.
 - Korkein puolijakso RMS-virranarvo (koko käynnistyksen ajan).
 - Hetkellinen verkkotaajuus kohdistimen kohdalla.
 - Verkkotaajuuden maksimi-, keski- sekä minimiarvo (koko käynnistyksen ajan).
 - Aika jolloin moottorin käynnitys aloitettiin.
- Kuvankaappauskuva (kork. 50 kuvaa).
- Transienttien tallennustoiminnot. Transienttien havaitseminen ja tallennus (korkeintaan 210 kpl) käyttäjän määrittelemältä ajalta (aloitus/lopetus päivämäärä ja aika-asetukset).
- Tallentaa 4 kokonaista sykliä (yksi ennen laukaisua ja kolme sen jälkeen) 8:ssa tallenuskanavassa.
- Tallennustoiminto (tiedonkeruu). 2 GB:n muisti päivämäärä- ja aikamerkinnoilla sekä käyttäjän määrittelemillä aloitus- ja lopetusajankohdilla, korkeintaan 100 tallennusta.
- Keskiarvon näyttö (minimilla/maksimilla tai ilman) pylväskaavio- tai käyrämuodossa, monin parametrein ajan funktiona.
- Hälytystoiminnot: Tallennetuista hälytyksistä koostuva lista (jopa 16 362), jotka ylittävät konfigurointivalikossa määritetyn raja-arvon. Käyttäjän määrittelemä hälytysvalvonta koskien aloitus- ja lopetusaikoja.

2.1.3. KONFIGUROIDUTOIMINNOT

- Päivämäärä- ja aika-asetukset.
- Näytön kirkkauden asetukset.
- Käyrävärien valinta.
- Näytön sammutustoiminnon valinta.
- Yötilan näyttöasetukset.
- Laskentamenetelmien valinta (ei-aktiiviset jaetut tai kokonaiset suureet, energiyksikön valinta, K-kertoimen laskuun tarvittavien tekijöiden valinta, yliaaltotason viitearvon, PLT:n laskenta (liukuva/ei liukuva)).
- Jakelujärjestelmän valinta (1-vaihe, 2-vaihe, 3-vaihe nolalla tai ilman) ja kytkentämenetelmä (standardi, 2-elementtimenetelmä tai 2 ½-elementtimenetelmä).
- Tallenusten, hälytysten, käynnistysvirtojen sekä transienttien konfigurointi.
- Tiedostojen poistaminen (kokonaan tai osittain).
- Ohjelmisto- ja laiteversion näyttö.
- Kielen valinta.
- Havaittujen (tai simuloitujen) virtapihtien näyttö (2-elementti kytkentämenetelmä).
- Jännite- ja virtamuuntosuhteiden, muuntajan muuntosuhteiden sekä herkkyyden asetus.

2.2. YLEISKATSAUS



Kuva 1: Yleiskatsaus, CA 8336 Qualistar+